

DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-5-50-62



НЕЙРООБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ СЕРВИС КАК ИНСТРУМЕНТ ПЕРСОНАЛИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Т. В. Букина¹, М. В. Храмова¹, С. А. Куркин¹, Д. А. Андриков^{2,3}, С. С. Гоман⁴, А. Е. Дедков⁵, А. Е. Храмов¹ ✉

¹ Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

² Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

³ «Инкултех», г. Москва, Россия

⁴ Лицей № 23, Калининград, Россия

⁵ Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

✉ hramovae@gmail.com

Аннотация

Проблема недостаточного когнитивного развития школьников может быть решена через организацию персонализированной внеучебной деятельности с помощью рекомендательного сервиса, созданного с опорой на нейронаучные исследования и современные знания о работе мозга. Основой для составления персонализированного списка рекомендуемых видов внеучебной деятельности становятся данные, полученные с помощью технологии нейровизуализации в процессе тестирования когнитивных и личностных характеристик учащегося, вкупе с информацией о его интересах и предпочтениях. Регулярное тестирование, проводимое каждые три–шесть месяцев, позволяет определить эффективность выбранных видов деятельности и скорректировать образовательный маршрут. Предполагается, что регулярное использование рекомендательного сервиса позволит стимулировать развитие когнитивных функций ребенка, тем самым способствуя повышению его академической успеваемости.

В статье представлены схема и принципы работы сервиса в целом, а также его оценивающего и рекомендательного модулей. Определены возможности применения рекомендательного сервиса в образовательном процессе, приведено описание практической реализации.

Предлагаемый сервис может быть полезен всем участникам образовательного процесса: классным руководителям, методистам, тьюторам, родителям и учащимся. Педагоги смогут индивидуализировать подход к каждому ученику, используя сервис в качестве дополнительного источника информации о структурном и функциональном развитии ребенка. Родителям рекомендательный сервис поможет лучше понять сильные и слабые стороны своих детей, а также отслеживать результативность включения той или иной деятельности в их образовательный маршрут. Ученикам станут доступны персонализированные рекомендации по развивающим внеучебным активностям.

Ключевые слова: персонализация, цифровое образование, образовательный маршрут, внеучебная деятельность, когнитивное развитие, нейронаука, нейровизуализация, рекомендательный сервис.

Для цитирования:

Букина Т. В., Храмова М. В., Куркин С. А., Андриков Д. А., Гоман С. С., Дедков А. Е., Храмов А. Е. Нейрообразовательный программный рекомендательный сервис как инструмент персонализации образовательного процесса. *Информатика и образование*. 2024;39(5):50–62. DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-5-50-62.

NEUROEDUCATIONAL SOFTWARE RECOMMENDATIONAL SERVICE AS A TOOL FOR PERSONALIZING THE EDUCATIONAL PROCESS

T. V. Bukina¹, M. V. Khranova¹, S. A. Kurkin¹, D. A. Andrikov^{2,3}, S. S. Goman⁴, A. E. Dedkov⁵, A. E. Hramov¹ ✉

¹ Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

² Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

³ Inschooltech, Moscow, Russia

⁴ Lyceum No 23, Kaliningrad, Russia

⁵ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

✉ hramovae@gmail.com

© Букина Т. В., Храмова М. В., Куркин С. А., Андриков Д. А., Гоман С. С., Дедков А. Е., Храмов А. Е., 2024

Abstract

The problem of insufficient cognitive development in schoolchildren can be solved through the organization of personalized extracurricular activities with the help of a recommendation service based on neuroscientific research and modern knowledge of brain function. The basis for compiling a personalized list of extracurricular activities is data obtained through neuroimaging technology in the process of testing the cognitive and personality characteristics of the student combined with information about their interests and preferences. Regular testing, conducted every three to six months, helps to determine the effectiveness of the chosen activities and to adjust the educational route. It is assumed that regular use of the recommendation service will stimulate the development of child's cognitive functions, thus contributing to the improvement of his/her academic performance.

The article presents the scheme and principles of the service as a whole, as well as its evaluation and recommendation modules. The possibilities of the recommendation service application in the educational process are defined. A description of the practical realization of the recommendation service is given.

The proposed service can be useful for individual participants of the educational process: class teachers, methodologists, tutors, parents, and students. Teachers will be able to individualize the approach to each student using the service as an additional source of information about the structural and functional development of the child. For parents, the service will help to better understand the strengths and weaknesses of their children as well as to track the effectiveness of including a particular activity in their educational route. Students will have access to personalized recommendations for developing extracurricular activities.

Keywords: personalization, digital education, educational route, extracurricular activities, cognitive development, neuroscience, neuroimaging, recommendation service.

For citation:

Bukina T. V., Khramova M. V., Kurkin S. A., Andrikov D. A., Goman S. S., Dedkov A. E., Hramov A. E. Neuroeducational software recommendational service as a tool for personalizing the educational process. *Informatics and Education*. 2024;39(5):50–62. (In Russian.) DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-5-50-62.

1. Введение

Современное образование сталкивается с множеством вызовов, связанных с быстрыми социально-экономическими и технологическими изменениями. Традиционные подходы к обучению и воспитанию, основанные на единой программе для всех учеников, все чаще подвергаются критике за то, что не позволяют учитывать индивидуальные различия, уникальные потребности и интересы учащихся, а также разный темп обучения. В условиях глобализации и цифровизации, когда информация становится все более доступной, а требования к навыкам и знаниям все нарастают, необходимость в трансформации образования становится все более очевидной. На наших глазах образовательная парадигма радикально меняется: от обеспечения гарантированного массового образования к его индивидуализации и персонализации, причем с повышением требований к качеству результатов [1]. Сегодняшние школьники стремятся к выражению своей индивидуальности, нуждаются в поддержке в этом отношении и стараются выстроить оптимальный для себя образовательный маршрут (с помощью дополнительных онлайн-курсов, обучающих приложений, онлайн-лекций, образовательного текстового и видеоконтента, кружков, секций и т. д.). Привычный субъект-объектный подход в образовании все чаще сменяется на субъект-субъектный, в котором учитель перестает быть транслятором знаний и становится наставником: он направляет учащегося в учебном процессе, учит учиться самостоятельно и ориентироваться в новой знаниевой среде.

Важной особенностью такого процесса становится персонализация, позволяющая выстроить образовательный маршрут, фокусируясь на интересах и склонностях школьника [2, 3]. Персонализация образования направлена на формирование компетенций конкретного ученика, закрепляет его роль как субъекта образования. Она предполагает, во-первых, адаптацию содержания и организации учебной дея-

тельности с учетом индивидуальных особенностей каждого учащегося, а во-вторых, его активное участие в планировании собственного образовательного маршрута на основе личных интересов и жизненных целей [4].

Для создания персонализированного образовательного маршрута необходимо ответить на два вопроса:

- 1) По каким принципам и критериям оценивать влияние сформированного маршрута на конкретного ребенка?
- 2) На каких индивидуальных особенностях учащегося стоит сфокусировать внимание?

В рамках гуманистической педагогики ответы на них можно искать, например, в теории периодизации развития ребенка Д. Б. Эльконина [5], основанной на идеях Л. С. Выготского [6] и А. Н. Леонтьева [7], или в теории мышления В. В. Давыдова [8]. Однако различия учеников в уровнях готовности к обучению, в их мотивации и отношении к образовательному процессу (позитивное или негативное) указывают на необходимость сформировать новый подход, который при построении персонализированного образовательного маршрута дает возможность учитывать больше объективно зафиксированных и проанализированных особенностей (показателей) ребенка.

Активная цифровизация образования позволяет получить инструмент для упрощения процесса персонализации. Согласно идеям А. Ю. Уварова и Г. М. Водопьяна, представленным в статье «О двух индикаторах процесса цифрового обновления школы» [4], при персонализированной организации обучения у учителей появляются особые функции:

- ведение профилей учеников;
- составление индивидуальных траекторий образовательной деятельности;
- проведение формирующего оценивания;
- создание гибкой образовательной среды.

Все эти функции можно реализовать в электронной среде, облегчив тем самым работу педагога.

Подобные готовые решения уже активно используются в онлайн-обучении (образовательные платформы, курсы), однако часто опираются лишь на сведения об успешности выполнения тех заданий, которые подбираются самой системой в рамках конкретных курсов, имеющих в наличии [9].

Однако такой подход имеет свои ограничения: **успешность обучения зависит среди прочего от индивидуальных особенностей развития ребенка (личностных и когнитивных)**, которые в этом случае не учитываются и не оцениваются. Более эффективным решением может стать **увеличение объема объективных и измеримых данных. Одним из способов получения таких данных является использование нейротехнологий** [2].

В последние годы научное сообщество проявляет все больший интерес к междисциплинарным исследованиям в области, которая изучает влияние когнитивного развития на процесс обучения [10]. Эту новую научную область называют по-разному: **нейропедагогика**, образовательная **нейронаука** (англ. Educational Neuroscience), **нейрообразование** (англ. Neuroeducation), **нейродидактика** (англ. Neurodidactics) и др. [11, 12]. Ученые активно обсуждают пути развития и возможные изменения в этой сфере: одни критикуют доминирующую роль нейронауки в этом междисциплинарном взаимодействии, а также использование нейронаучных данных, которые педагогам сложно интерпретировать [13, 14]. Другие ученые выделяют важные преимущества внедрения нейронауки в образование, поскольку нейронаука [10, 15]:

- предоставляет больше возможностей для персонализации образования;
- помогает выявлять различия в развитии когнитивных функций, влияющих на образовательные результаты;
- на основе показателей, получаемых при исследовании мозга, предсказывает эффективность процесса обучения точнее, чем поведенческие метрики.

Предполагается, что активное внедрение **положений нейронауки в организацию учебного процесса, в технологии и методы обучения** будет способствовать в первую очередь **смещению фокуса процесса обучения от академических знаний к всестороннему развитию человека** [11], а использование **идей и технологий нейронауки в образовании** позволит **улучшить качество образовательного процесса**, трансформировать его в соответствии с представлениями о том, как учащиеся учатся и как обучение влияет на мозг [16].

Нейронаука в образовании позволяет расширить понимание внутренних процессов, предшествующих обучению и научению, с опорой на известные принципы развития и функционирования мозга. Э. Ф. Зеер в статье «**Нейродидактика — инновационный тренд персонализированного образования**» [17] сформулировал положения, которые обосновывают нейрообразовательную концепцию персонализации

образовательной деятельности. Среди них ключевыми для нашего сервиса являются следующие:

- «**обучающийся выступает субъектом персонализированной учебной деятельности**»;
- «**смыслообразующая установка учения — актуализация познавательных (когнитивных) функций обучающихся**».

В настоящее время активно изучается проблема влияния уровня развития определенных когнитивных функций на эффективность обучения [18, 19]. В качестве методов развития когнитивных функций в нейронаучных исследованиях часто рассматривается использование различных видов внеучебной деятельности и хобби: счет на абаке [20, 21], занятия карате [22] и др. Универсальность и возможность кастомизации внеучебных занятий в соответствии с потребностями и интересами учащегося являются ключевыми факторами, расширяющими влияние на образовательный процесс внеучебной деятельности, ориентированной на развитие личностных и метапредметных результатов учащихся. Дополнительное образование предоставляет обширные возможности для становления личности, поскольку создает социальное пространство, благотворно влияющее на формирование индивидуальности ребенка в ситуации успеха в интересующей его деятельности [1].

Неинвазивно исследовать активность головного мозга позволяет нейровизуализация, которая в наглядной форме демонстрирует особенности его структуры и функционирования. С помощью методов нейровизуализации исследуются такие вопросы, как:

- измерение когнитивных способностей [23];
- поиск взаимосвязей между уровнем их развития и успехами в обучении [24, 25];
- возрастная периодизация [26] и т. д.

В настоящее время происходит становление **новой образовательной парадигмы** [27]: **встраивание в ряд классических акторов образования новых участников — систем, базирующихся на основе искусственного интеллекта (ИИ). Процесс интеграции ИИ в образование воплощается в создании различных инструментов, в том числе:**

- чат-ботов, объединяющих разнообразные функции (от теоретического тестирования по выбранному предмету до помощи в практике говорения на иностранном языке) [28, 29];
- сервисов для анализа поведения участников образовательного процесса и оценки качества проведенного занятия¹;
- цифровых ассистентов, направленных на поддержку самоорганизации обучения студентов [30], и т. д.

¹ Например, «Ассистент преподавателя» — ИИ-сервис, созданный Академической лабораторией СберОбразования, который автоматически переводит аудиозапись урока в текст, анализирует ее и предоставляет детальные отчеты по разным характеристикам (распределение времени на уроке, использование приемов общения, скорость речи преподавателя и пр.). Подробнее см.: <https://edu-assist.me/#analysis>

Нам представляется перспективным построение такого цифрового ассистента (помощника), в основе работы которого лежат нейронаучные знания. Сегодня на пути между педагогом и актуальным нейронаучным знанием, освоение которого требует усилий и времени, появляется помощник — консультант. Одним из воплощений такого консультанта-нейропедагога может стать специалист, изучающий педагогику, психологию и нейронауку отдельно и в совокупности, который будет помогать учителям лучше понимать нейропедагогические особенности процесса обучения детей, а также разрабатывать и корректировать образовательные программы [31]. Однако возможности консультанта в оценке особенностей обучения и развития учеников ограничены. Кроме того, время, необходимое для обработки результатов каждого ученика, может быть значительным. *Таким образом, формируется запрос на создание цифрового сервиса, который объединит в себе особые функции учителя в рамках персонализированного образования, описанные выше, и нейронаучные данные о мозге и особенностях его развития.*

Поскольку персонализированный подход в образовании влияет не только на процесс обучения, но и на воспитание личности, формирование у ребенка мотивации к образовательной деятельности, то нейронаучные данные о когнитивном развитии позволяют сформировать интегративный портрет обучающегося, включающий в себя как его поведенческие характеристики, так и особенности работы его мозга в ситуациях когнитивной деятельности.

Таким образом, необходимой и крайне важной является разработка технической системы поддержки педагога, которая объединяет в себе, во-первых, персонализированный образовательный подход, позволяющий сформировать индивидуальную образовательную траекторию ученика, и, во-вторых, управление внеучебной деятельностью, направленной на развитие личностных и когнитивных характеристик учащегося и продемонстрировавшей в экспериментах высокую эффективность в отношении этого развития.

Целью статьи является разработка и описание схемы и принципов работы рекомендательного сервиса для персонализации образовательных траекторий обучающихся.

2. Рекомендательный сервис, построенный на принципах нейрообразования

2.1. Схема и принципы работы сервиса

Практической реализацией описанного выше подхода является рекомендательный сервис [32, 33], разработанный для корректировки образовательного процесса. Его интерфейс позволяет отслеживать активность головного мозга с помощью специализированных устройств нейровизуализации (в данном случае — электроэнцефалографа, регистрирующего данные активности головного мозга при решении когнитивных задач в виде электроэнцефалограммы (ЭЭГ)) [23, 34].

Схема работы сервиса изображена на рисунке 1.

Работа с сервисом организуется перед началом учебного года. На этом этапе проводится первичное нейроисследование учеников с использованием технологии ЭЭГ: нейроинтерфейс сервиса фиксирует активность головного мозга детей в момент выполнения ими специализированных когнитивных заданий. Собранные данные отправляются в рекомендательный сервис для дальнейшей обработки и анализа.

Сервис включает в себя два основных модуля: оценивающий и рекомендательный.

2.1.1. Оценивающий модуль сервиса

Оценивающий модуль направлен на анализ выполнения заданий и отслеживание уровня развития когнитивных функций, которые тесно связаны с повседневной познавательной активностью обучающихся. *К анализируемым когнитивным функциям относятся:*

- визуальный поиск (умение быстро находить нужную визуальную информацию);
- рабочая память (способность временно хранить и обрабатывать ограниченный объем данных, необходимый для решения текущей задачи);
- ментальная арифметика (способность проводить арифметические операции, считать в уме);
- способность комбинировать все эти функции (это важно при решении любой сложной когнитивной задачи, которая может включать в себя разные аспекты перечисленных функций).

Модуль оценивает каждую функцию по следующим параметрам:

- по нейрофизиологическим показателям с помощью информации, полученной от нейроинтерфейса (оцениваемые параметры — уровень усталости и уровень неустойчивости внимания);
- по поведенческим характеристикам (оцениваемые параметры — процент ошибок и среднее время ответа).

Когнитивные функции оцениваются по совокупности параметров: если значение хотя бы двух любых из них выше нормы, необходимо обратить внимание на соответствующую функцию и рассмотреть возможные рекомендации по ее развитию (рис. 2).

Оценивающий модуль, проанализировав совокупную информацию по ученику, может сформировать его образовательный портрет, который отражает сильные и слабые стороны учащегося, развитые и недостаточно сформированные когнитивные функции.

Подробное описание дизайна нейроисследования учеников, а также принципы работы оценивающего модуля и описание использованных методов анализа указанных параметров приведены в нашей работе «Open-loop neuroadaptive system for enhancing student's cognitive abilities in learning» [32].

2.1.2. Рекомендательный модуль сервиса

Рекомендательный модуль сервиса отвечает за формирование рекомендаций, направленных на корректировку менее развитых функций (рис. 3).

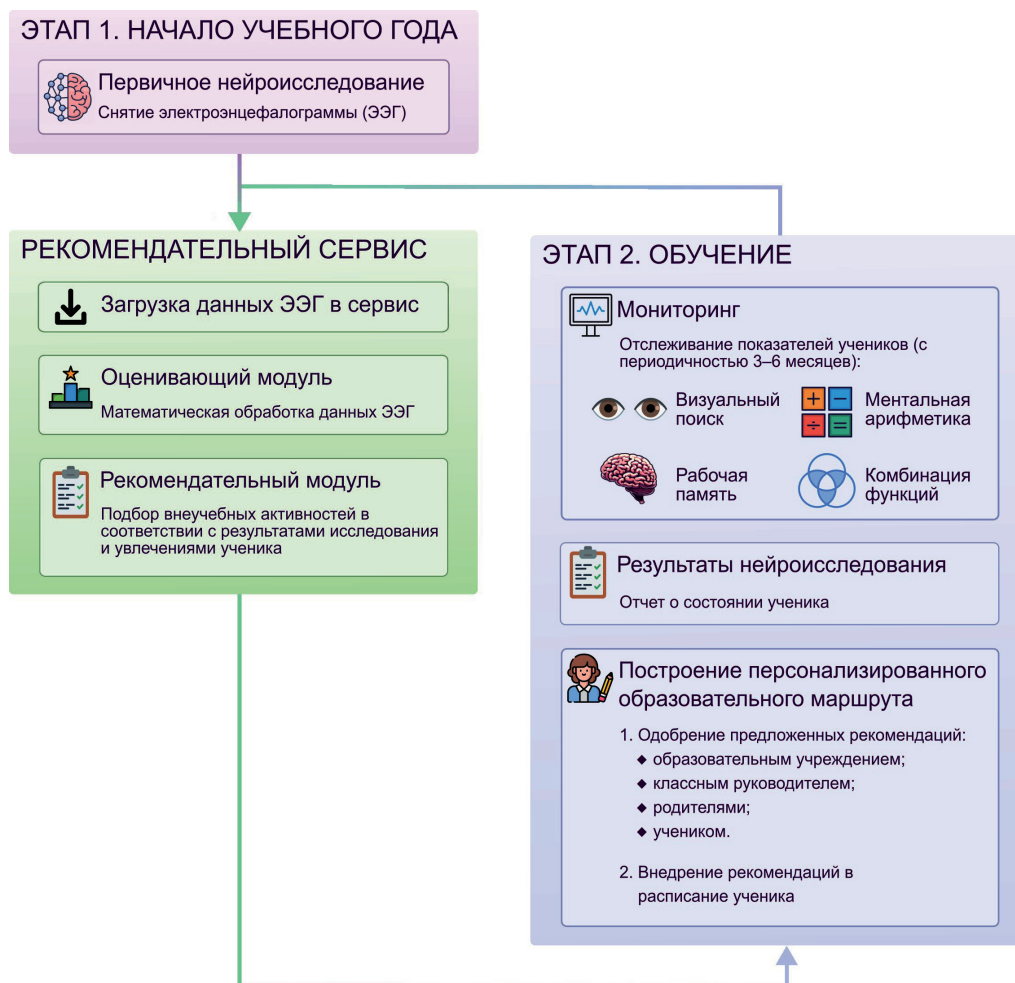


Рис. 1. Схема работы рекомендательного сервиса, построенного на принципах нейрообразования
Fig. 1. The operating scheme of the recommendational service based on the principles of neuroeducation

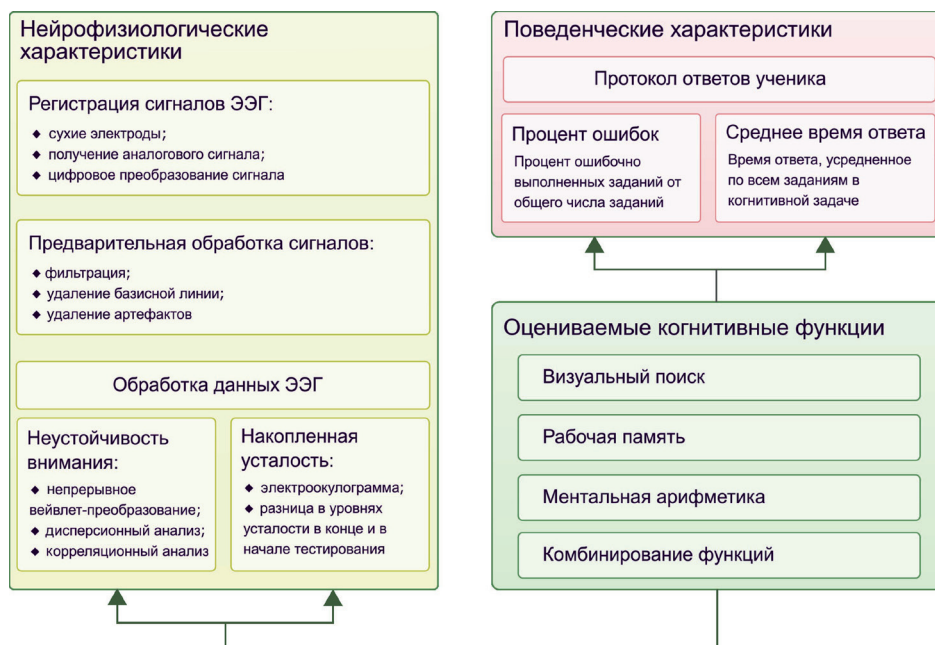


Рис. 2. Принцип работы оценивающего модуля
Fig. 2. The principle of operation of the evaluation module

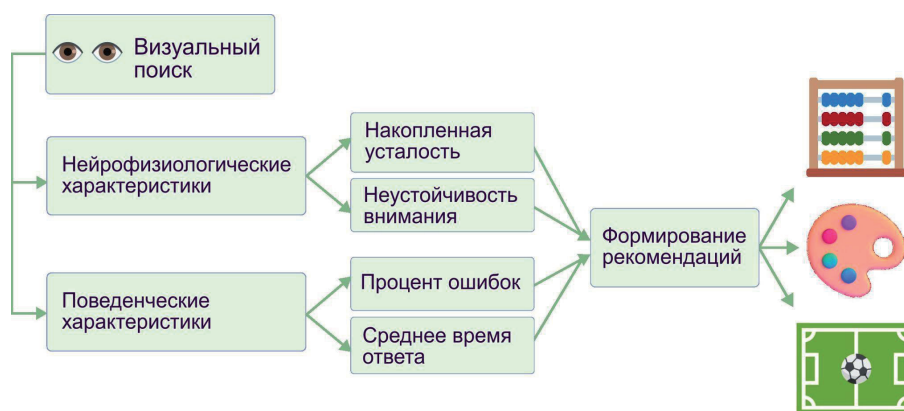


Рис. 3. Принцип работы рекомендательного модуля на примере функции визуального поиска

Fig. 3. The principle of operation of the recommendation module on the example of the visual search function

Чтобы оценить уровень развития когнитивных функций, данные каждого ученика сравнивают с граничными значениями, полученными в процессе исследования группы обучающихся. Обращаем внимание, что различия в уровнях развития тех или иных когнитивных функций мы не связываем с негативными коннотациями: такие различия являются естественными особенностями каждого конкретного ребенка. **Основываясь на анализе данных об ученике, полученных с помощью электроэнцефалографа на этапе оценки, рекомендательный модуль предлагает варианты изменения образовательного плана с учетом индивидуальных интересов ребенка.**

Концепция рекомендательного модуля сервиса заключается в том, что его рекомендации направлены на корректировку когнитивных показателей ученика через внеучебную деятельность. Подобный подход позволяет создать универсальную систему, которая подходит для детей с разными способностями, относящихся к разным возрастным группам, без привязки к конкретным образовательным результатам. При этом сервис остается персонализированным и учитывает личностные предпочтения ребенка в отношении предлагаемых внеучебных мероприятий. **Ключевую роль в подборе рекомендаций играют данные нейровизуализации, показывающие уровень сформированности соответствующих когнитивных функций.** Рекомендации подбираются таким образом, чтобы нормализовать, а в дальнейшем, возможно, и повысить уровень развития когнитивных функций.

Решение об окончательном одобрении предложенных рекомендаций для конкретного ученика принимается оператором сервиса (классным руководителем, тьютором, иным ответственным педагогическим работником) по совокупности факторов. Рекомендации включаются в маршрут ученика, если:

- в школе имеются необходимые ресурсы (помещение, оборудование, преподаватели) либо администрация школы имеет возможности и готова предоставить перечисленное (либо

если родители (законные представители) согласны взять на себя обязательства и расходы по проведению занятий дополнительного образования);

- получено согласие всех участников образовательного процесса (классного руководителя, родителей (законных представителей ученика), самого ученика).

Рекомендации распределяются согласно присвоенным тегам. Теги указывают на уровень интереса школьника к конкретной деятельности, а также способность школы ее организовать. *Теги интереса* присваиваются на основе опроса, в котором учащийся указывает наиболее привлекательные для себя направления деятельности. *Теги доступности* присваивает администратор сервиса (ответственный сотрудник образовательного учреждения), который анализирует возможности школы (или родителей, законных представителей) по реализации конкретной активности. Например, если в школе есть бассейн, у активности «Занятия плаванием» будет соответствующий тег — «Возможность реализации в пределах школы», а если ученик любит плавать — появится тег «Привлекательная активность». Наиболее привлекательные и легко реализуемые виды деятельности приводятся в начале списка рекомендаций. Это повышает наглядность сервиса и упрощает процесс выбора подходящих вариантов.

Для работы сервиса необходимо наличие определенного рекомендательного базиса. Рекомендации формируются на основе проведенного нами анализа научных исследований, в которых изучался вопрос развития когнитивных функций с помощью внеучебной активности. Мы проанализировали около 5 тысяч статей, опубликованных за период с 2003 года по 2024 год, где рассматривались вопросы влияния различных активностей на когнитивное развитие. Поиск проводился в международных и отечественных базах данных по модели PRISMA [35, 36] с помощью определенного набора ключевых слов. С учетом заданных критериев в ходе анализа были отобраны 35 методик, данные которых и вошли

в разработанный сервис: например, рассматривалось положительное влияние обучения счету на абак [21] или игре на музыкальных инструментах [37] на рабочую память и ментальную арифметику. Более подробные результаты данного анализа будут опубликованы позднее.

Нейроисследования учащихся проводятся каждые 3–6 месяцев. На основании изменений в оценках характеристик когнитивных функций после очередной итерации делается вывод о необходимости повторной корректировки плана внеучебной деятельности.

2.2. Возможности применения рекомендательного сервиса в образовательном процессе

После создания и наполнения сервиса возникает ряд вопросов: как лучше, результативнее и разумнее внедрить его в повседневную практику? Как смогут взаимодействовать с ним участники образовательного процесса — педагоги, родители (законные представители) учеников и сами обучающиеся? И какую пользу каждый из них сможет из него извлечь?

Новшества в образовании воспринимаются с трудом как общественностью, так и профессиональным сообществом. Родители часто требуют учить детей традиционными методами и по старым, проверенным учебникам, считая, что так будет лучше. Мы позволим себе провести аналогию с медициной, где новые технологии также встречали сопротивление как со стороны пациентов, так и врачей. Врачу для оценки состояния пациента необходимы данные лабораторных анализов (не всегда можно понять, что происходит с человеком, только по его жалобам или при внешнем осмотре). Аналогична ситуация в области образования: достоверные данные о когнитивном развитии ребенка играют важную роль при построении эффективного персонализированного образовательного маршрута. В медицине разрабатываются системы поддержки принятия решений, предлагающие варианты диагнозов или лечения, но только врач принимает окончательное решение, опираясь на свои знания и предложения системы [10]. Мы полагаем, что со временем рекомендательный сервис в руках педагога также станет привычным и понятным инструментом. *Классному руководителю* подобный сервис позволит отслеживать изменения в когнитивном развитии его подопечных. Он может стать эквивалентом системы поддержки принятия педагогических решений: опираясь на полученные от него данные, педагог будет формировать индивидуальное расписание внеучебной деятельности для своих учеников в соответствии с предложенными рекомендациями, руководствуясь также педагогическим опытом и результатами предыдущих итераций работы сервиса.

В 2008 году в России была законодательно закреплена должность тьютора [38]. Однако до сих пор поднимаются вопросы определения принципов и технологий его работы. В современной школе

с повышением интереса к персонализированному обучению от педагогов, классных руководителей и психологов могут потребоваться компетенции тьютора по индивидуальному сопровождению учеников, а также помощи при выборе образовательных маршрутов (консультирование и корректировка). Согласно теории тьюторского сопровождения, представленной в статье Т. М. Ковалевой, А. А. Терова, Э. В. Хачатрян и др. «Тьюторское сопровождение в современном образовании: от теории к практике» [39], тьютор в своей работе должен учитывать среди прочего особенности личности ученика. Одной из задач тьютора становится помощь ученику в определении его индивидуальных качеств: на какие из них тьютор может опереться в учебной деятельности, а какие еще только предстоит сформировать и развить [39].

Бедущим принципом педагогической антропологии является всестороннее изучение ребенка, подход к ученику как к целостному явлению, знания о котором интегрируются из различных отраслевых антропологий (физической, психологической, философской, культурной и т. д.). При этом содержание и методы обучения и воспитания должны соответствовать природе ребенка. Разработанный сервис может выполнять функцию дополнительного источника информации о структурном и функциональном развитии школьника, необходимой для реализации антропологического подхода [40, 41].

Для родителей значительный интерес представляет также потенциальная возможность отслеживать, как включение в учебный план той или иной внеучебной деятельности повлияло на когнитивное развитие ребенка. Важную роль здесь играет наличие измеримого результата.

Самому обучающемуся сервис может помочь в выборе хобби по его личным предпочтениям и показателям когнитивного развития, а также в целенаправленном развитии его способностей с опорой на научно обоснованные рекомендации.

Предполагаемые возможности рекомендательного сервиса показаны на рисунке 4.

Перед современной школой, согласно федеральным образовательным программам¹, стоит задача включения в образовательный процесс разнообразной внеурочной деятельности (до 10 часов в неделю), направленной на разностороннее развитие школьника. В соответствии с Концепцией развития дополни-

¹ Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 18 мая 2023 года № 370 «Об утверждении федеральной образовательной программы основного общего образования» (с изм. 19.03.2024). <https://docs.cntd.ru/document/1301798826>; Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 18 мая 2023 года № 372 «Об утверждении федеральной образовательной программы начального общего образования» (с изм. 19.03.2024). <https://docs.cntd.ru/document/1301798824>; Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 18 мая 2023 года № 371 «Об утверждении федеральной образовательной программы среднего общего образования» (с изм. 19.03.2024). <https://docs.cntd.ru/document/1301798825>



Рис. 4. Возможности рекомендательного сервиса
Fig. 4. The capabilities of the recommendational service

тельного образования детей до 2030 года¹ в настоящее время в России почти 80 % школьников получают дополнительное образование. Чтобы сделать его доступным, в ряде регионов России внедряется система персонализированного учета и финансирования дополнительного образования школьников. Подобная система (с выдачей сертификатов на оплату занятий) введена и в Калининградской области, где проводилось экспериментальное исследование работы оценивающего модуля рекомендательного сервиса, а также планируется его тестовая реализация.

В Концепции также определены проблемные области, мешающие дальнейшему развитию и улучшению качества дополнительного образования, среди них:

- непродуктивное использование возможностей дополнительного образования в формировании у учащихся навыков, способствующих всестороннему развитию (эмоциональному, физическому, интеллектуальному, духовному);
- недостаточная эффективность дополнительного образования в профилактике и преодолении неуспешности в школе.

Одним из принципов дополнительного образования в Концепции заявлена его вариативность, подкрепленная запросами и интересами самих детей. На уровне администрации школы рекомендательный сервис позволяет обосновать выбор и распределение видов внеучебной деятельности.

По нашему мнению, термин «внеучебная деятельность» в рамках рассматриваемой системы гораздо точнее определяет деятельность, называемую в государственных стандартах «дополнительное образование» и «внеурочная деятельность». Персонализированный характер предлагаемых рекомендаций позволяет участникам образовательного процесса, как упоминалось выше, формировать план занятий ребенка в соответствии с его интересами и возмож-

ностями, не ограничиваясь стенами образовательного учреждения.

В силу специфики и результатов работы рекомендательного сервиса на текущем этапе своего развития он не принесет педагогу-предметнику много пользы. Однако в перспективе информация, полученная с помощью нейроинтерфейсов, позволит учителю подбирать образовательные технологии, влияющие на развитие когнитивных функций учащегося. Такой сценарий станет возможен только после значительного повышения нейронаучной грамотности педагогов и распространения нейродидактических знаний в педагогическом сообществе.

Таким образом, нейрообразование может позволить преподавателю опираться на нейронаучные данные при формировании вариативного персонализированного обучения и воспитания. При этом развитие нейротехнологий поможет применять их в отношении каждого ученика, учитывая разные стороны его развития, а разработанный рекомендательный сервис даст возможность организовать работу на разных уровнях структуры образовательной организации.

2.3. Практическая реализация рекомендательного сервиса

Рассмотрим структуру предлагаемого рекомендательного сервиса. В нем можно оперировать различными данными:

- информацией обо всех учащихся;
- информацией о некоторой группе учащихся;
- информацией о конкретном ученике.

Уровни доступа к информации различаются в зависимости от статуса пользователя:

- администрации школы доступна вся информация;
- классный руководитель оперирует данными, которые касаются его класса;
- родители могут знакомиться только с предложениями по видам внеучебной деятельности для своего ребенка.

На стартовом экране сервис представляет информацию обо всех проведенных исследованиях, а также совокупные данные показателей учеников (рис. 5).

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации № 678-р от 31 марта 2022 года «Концепция развития дополнительного образования детей до 2030 года». <http://static.government.ru/media/files/3fIgkklAJ2ENBbCFVEkA3cTOsiypicBo.pdf>

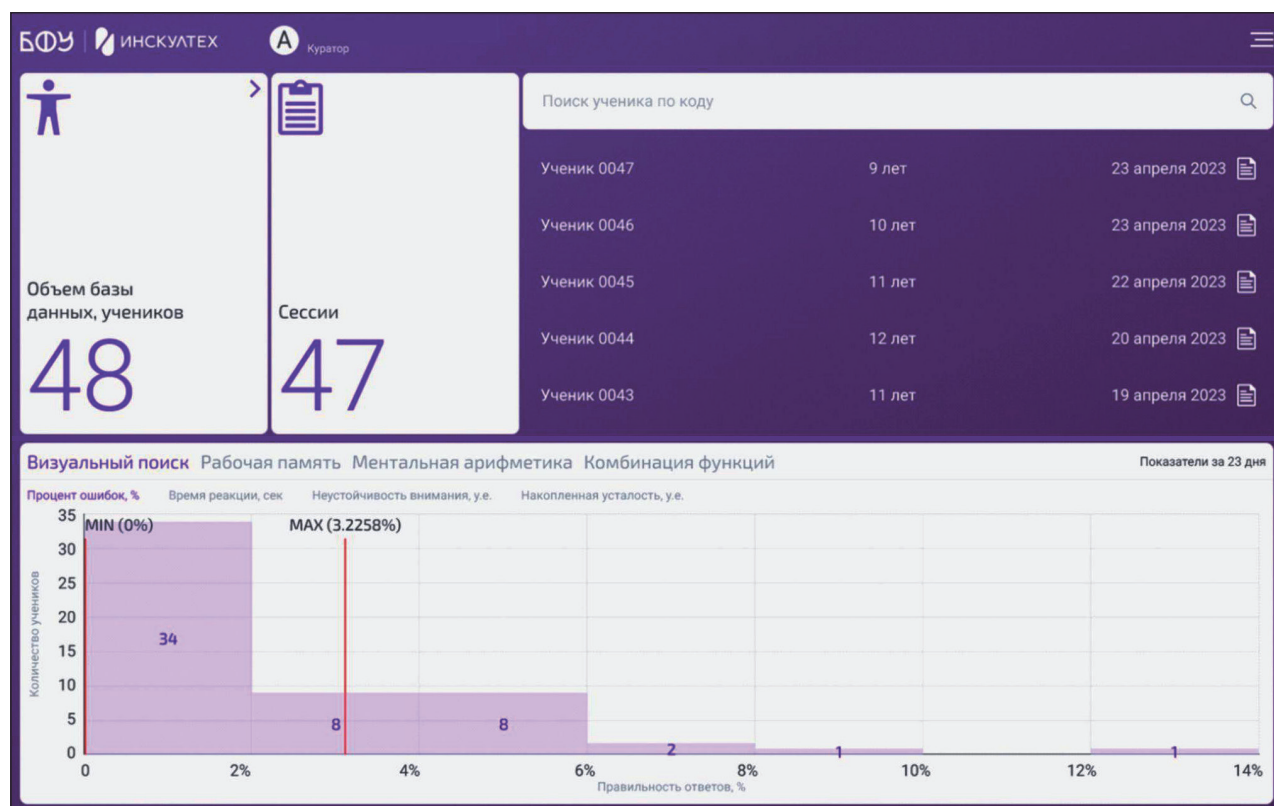


Рис. 5. Скриншот работы рекомендательного сервиса. Результаты исследований по всем ученикам

Fig. 5. Screenshot of the recommendational service operation. Research results for all pupils

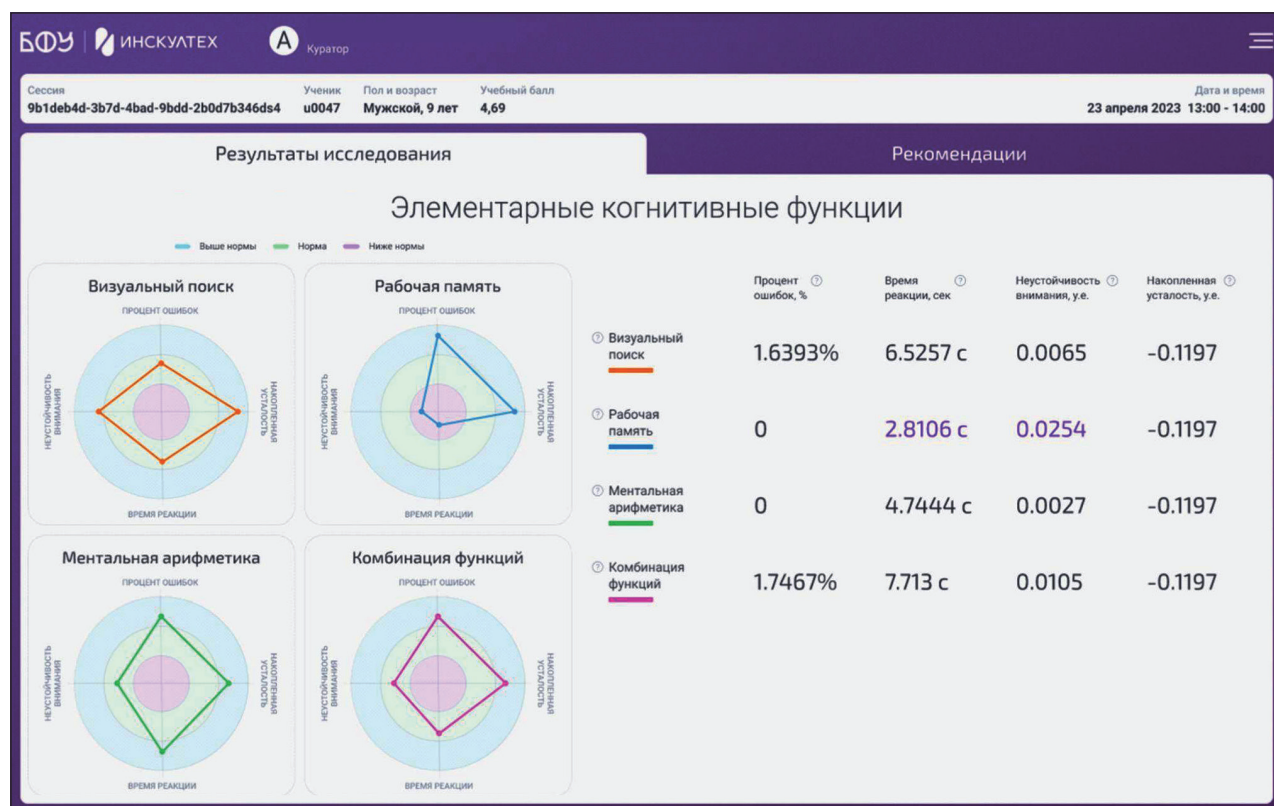


Рис. 6. Скриншот работы рекомендательного сервиса. Результаты исследования по конкретному ученику

Fig. 6. Screenshot of the recommendational service operation. Research results for a particular pupil

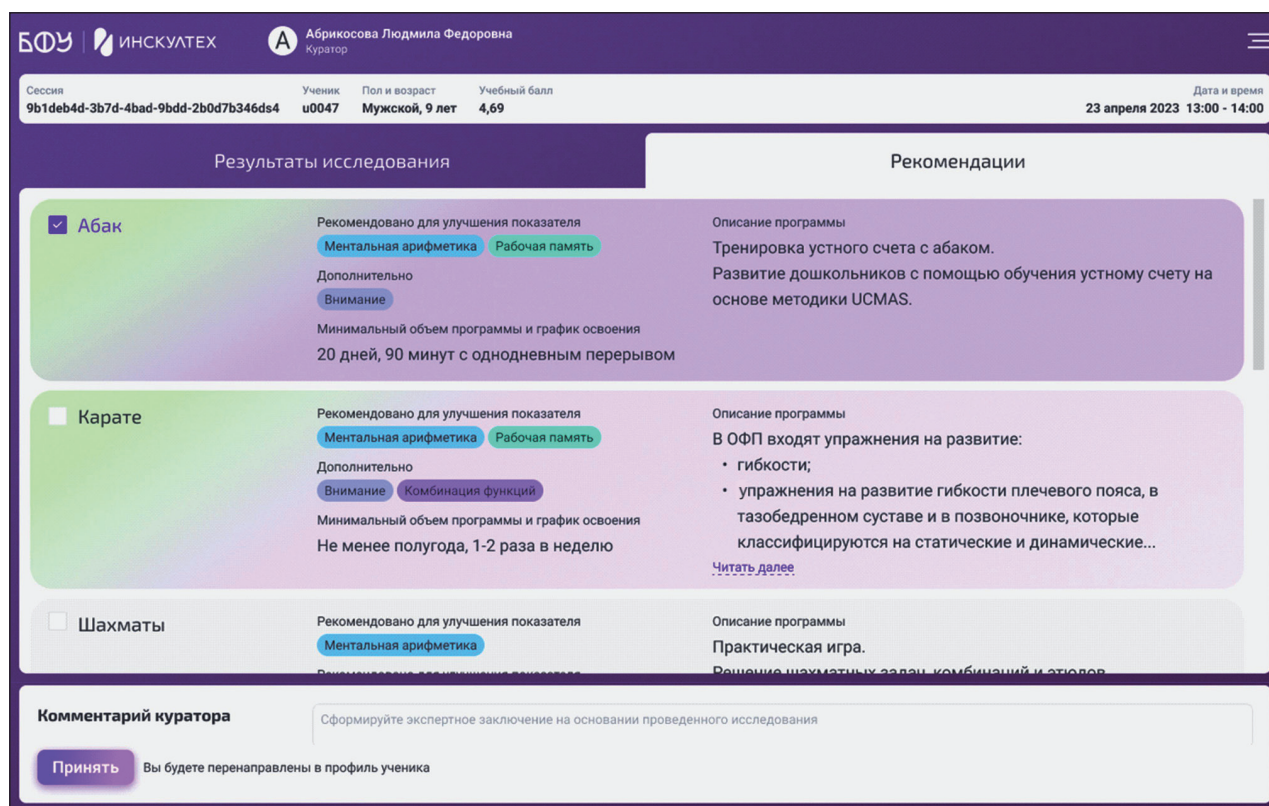


Рис. 7. Скриншот примера работы рекомендательного модуля сервиса
 Fig. 7. Screenshot of an operation example of the service's recommendation module

Объем отображаемой информации зависит от роли пользователя.

После загрузки файла с данными нейроисследования (запись данных ЭЭГ и тестирование проводятся квалифицированным специалистом с помощью отдельного ПО) **сервис выводит результаты анализа** (рис. 6). Информация представлена в наглядном графическом, а также числовом виде. Для каждой когнитивной функции отображаются значения ее поведенческих и нейрофизиологических характеристик.

На рисунке 7 представлен пример рекомендаций, с опорой на которые педагог и родители могут построить персональный образовательный маршрут ребенка с учетом совокупности факторов, описанных выше. При этом педагог может редактировать предложенные варианты. **После подтверждения выбранных рекомендаций они добавляются в индивидуальное расписание ученика:** на данном этапе происходит редактирование общешкольного расписания внеучебной деятельности.

3. Апробация рекомендательного сервиса

В рамках апробации нейрообразовательного программного рекомендательного сервиса были проведены два эксперимента.

Первый эксперимент проходил на базе лицея № 23 Калининграда и экспериментальной школы «Новый взгляд» г. Москвы с участием 60 школьни-

ков в двух возрастных категориях: 9–10 лет в III–IV классах и 11–12 лет в V классе. В ходе эксперимента согласно описанной выше схеме работы сервиса дети выполняли когнитивные задания, а устройства нейровизуализации (ЭЭГ) в то же время фиксировали сигналы головного мозга. Кроме нейрофизиологических, оценивались и поведенческие характеристики учеников. В результате были получены данные, которые позволили определить референсные значения развития когнитивных функций в исследуемых группах, а затем на их основе распределить учащихся по квартилям в соответствии с индивидуальным уровнем развития рассматриваемых функций. Подробная информация о разработке, ходе проведения и результатах эксперимента представлена в статье [32].

Второй эксперимент проводился в лицее № 23 Калининграда с участием 50 учеников VII класса (12–13 лет). Эксперимент был направлен на расширение базы данных и корректировку работы рекомендательного сервиса (в том числе на увеличение сложности когнитивных заданий, а также разнообразие методов их оценки) в соответствии с особенностями разных возрастных групп. Данные по второму эксперименту находятся в процессе обработки.

4. Заключение

Важная тенденция современного образования — создание благоприятной образовательной среды, которая способствует максимальному развитию

потенциала каждого ученика. Персонализированный подход, при котором учитываются интересы каждого ученика и осуществляется поддержка со стороны квалифицированного преподавателя, приобретает особое значение. Именно благодаря ему формируются самостоятельные и продуктивные члены общества, готовые к саморазвитию на протяжении всей жизни.

Персонализация и нейронаука тесно связаны, поскольку последняя предоставляет ценные данные о работе мозга и когнитивных процессах. Понимание нейробиологических основ обучения позволяет точнее определять потребности учащихся и разрабатывать персональные образовательные маршруты учебной и внеучебной деятельности, которые не только учитывают индивидуальные когнитивные и личностные различия, но и дают возможность развивать учащихся, а значит, повышать образовательные результаты.

Использование представленного в статье рекомендательного сервиса как инструмента для персонализации в нейрообразовании обеспечивает:

- контроль учащегося над своим образовательным маршрутом, в том числе возможность выбора интересующих его внеучебных занятий;
- улучшение понимания преподавателем потребностей учащегося;
- предоставление преподавателю технологий, позволяющих реализовать особые функции, появляющиеся у него при организации персонализированного обучения;
- сбор данных об уровне развития когнитивных функций до и после использования рекомендательного сервиса с целью формирования обновляющейся базы данных.

Включение в образовательный процесс рекомендательного сервиса, созданного с позиций нейрообразования, окажется полезным для всех его участников.

Финансирование

Работа поддержана БФУ им. И. Канта в рамках программы академического лидерства «Приоритет-2030» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Funding

The study was supported by Immanuel Kant Baltic Federal University as part of the academic leadership program “Priority-2030” of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Список источников / References

1. Филатова М. Н. Индивидуализация и персонафикация дополнительного образования детей как педагогическая проблема. *Инновационные проекты и программы в образовании*. 2015;(6):13–21. EDN: WJCLYL.
2. Федоров А. А., Куркин С. А., Храмова М. В., Храмов А. Е. Нейротехнологии и искусственный интеллект как ключевые факторы кастомизации жизненно-образовательного маршрута. *Информатика и образование*. 2023;38(3):5–15. EDN: SAOKSA. DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-3-5-15.

2023;38(3):5–15. EDN: SAOKSA. DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-3-5-15.

[Fedorov A. A., Kurkin S. A., Khramova M. V., Hramov A. E. Neurotechnology and artificial intelligence as key factors in the customization of the lifelong learning route. *Informatics and Education*. 2023;38(3):5–15. (In Russian.) EDN: SAOKSA. DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-3-5-15.]

3. Гилева К. В., Гайнутдинова Ю. Ю. Реализация субъект-субъектного подхода в концепции цифрового образования в высшей школе. *Цифровые трансформации в образовании (E-Digital Siberia'2021): Материалы V Международной научно-практической конференции*. Новосибирск: Сибирский государственный университет путей сообщения; 2021:57–64. EDN: HMLNLB.

[Gileva K. V., Gainutdinova Yu. Yu. Implementation of the subject-subject approach in the concept of digital education in higher education. *Digital Transformations in Education (E-Digital Siberia'2021): Proc. 5th Int. Scientific and Practical Conf.* Novosibirsk, Siberian Transport University; 2021:57–64. (In Russian.) EDN: HMLNLB.]

4. Уваров А. Ю., Водопьян Г. М. О двух индикаторах процесса цифрового обновления школы. *Информатика и образование*. 2023;38(5):5–15. EDN: VBQKKW. DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-5-5-15.

[Uvarov A. Yu., Vodopian G. M. About two indicators of the school digital renewal process. *Informatics and Education*. 2023;38(5):5–15. (In Russian.) EDN: VBQKKW. DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-5-5-15.]

5. Эльконин Д. Б. Избранные психологические труды. М.: Педагогика; 1989. 560 с.

[Elkonin D. B. Selected psychological works. Moscow, Pedagogika; 1989. 560 p. (In Russian.)]

6. Выготский Л. С. Педагогическая психология. М.: Педагогика; 1991. 480 с.

[Vygotsky L. S. Educational psychology. Moscow, Pedagogika; 1991. 480 p. (In Russian.)]

7. Леонтьев А. Н. Проблемы развития психики: монография. М.: Издательство Московского университета; 1981. 584 с.

[Leontyev A. N. Problems of mental development. Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta; 1981. 584 p. (In Russian.)]

8. Давыдов В. В. Виды обобщения в обучении: логико-психологические проблемы построения учебных предметов. М.: Педагогика; 1972. 424 с.

[Davydov V. V. Types of generalization in teaching: Logical and psychological problems of building academic subjects. Moscow, Pedagogika; 1972. 424 p. (In Russian.)]

9. Truong H. M. Integrating learning styles and adaptive e-learning system: Current developments, problems and opportunities. *Computers in Human Behavior*. 2016;55:1185–1193. DOI: 10.1016/j.chb.2015.02.014.

10. Храмова М. В., Храмов А. Е., Федоров А. А. Современные тренды развития нейронаучных исследований в образовании. *Вопросы образования*. 2023;(4):275–316. EDN: CQUIJK. DOI: 10.17323/vo-2023-16701.

[Khramova M. V., Hramov A. E., Fedorov A. A. Current trends in the development of neuroscientific research in education. *Educational Studies*. Moscow. 2023;(4):275–316. (In Russian.) EDN: CQUIJK. DOI: 10.17323/vo-2023-16701.]

11. Feiler J. B., Stabio M. E. Three pillars of educational neuroscience from three decades of literature. *Trends in Neuroscience and Education*. 2018;13:17–25. DOI: 10.1016/j.tine.2018.11.001.

12. Palghat K., Horvath J. C., Lodge J. M. The hard problem of “educational neuroscience”. *Trends in Neuroscience and Education*. 2017;6:204–210. DOI: 10.1016/j.tine.2017.02.001.

13. Bowers J. S. The practical and principled problems with educational neuroscience. *Psychological Review*. 2016;123(5):600–612. DOI: 10.1037/rev0000025.

14. Turner D. Which part of “two way street” did you not understand? Redressing the balance of neuroscience and education. *Educational Research Review*. 2011;6:223–231. DOI: 10.1016/j.edurev.2011.10.002.
15. Gabrieli J. D. E. The promise of educational neuroscience: Comment on Bowers (2016). *Psychological Review*. 2016;123(5):613–619. DOI: 10.1037/rev0000034.
16. Howard-Jones P. A., Varma S., Ansari D., Butterworth B., De Smedt B., Goswami U., Laurillard D., Thomas M. S. The principles and practices of educational neuroscience: Comment on Bowers (2016). *Psychological Review*. 2016;123(5):620–627. DOI: 10.1037/rev0000036.
17. Зеер Э. Ф. Нейродидактика — инновационный тренд персонализированного образования. *Профессиональное образование и рынок труда*. 2021;(4(47)):30–38. EDN: CSPPYE. DOI: 10.52944/PORT.2021.47.4.002.
18. Zeer E. F. Neurodidactics — an innovative trend of personalised education. *Professional'noye Obrazovaniye i Rynok Truda*. 2021;(4(47)):30–38. (In Russian.) EDN: CSPPYE. DOI: 10.52944/PORT.2021.47.4.002.]
18. Mammarella I. C., Lucangeli D., Cornoldi C. Spatial working memory and arithmetic deficits in children with non-verbal learning difficulties. *Journal of Learning Disabilities*. 2010;43(5):455–468. DOI: 10.1177/0022219409355482.
19. Mabbott D. J., Bisanz J. Computational skills, working memory, and conceptual knowledge in older children with mathematics learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*. 2008;41(1):15–28. DOI: 10.1177/0022219407311003.
20. Zhou H., Geng F., Wang T., Wang C., Xie Y., Hu Y., Chen F. Training on abacus-based mental calculation enhances resting state functional connectivity of bilateral superior parietal lobules. *Neuroscience*. 2020;432:115–125. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2020.02.033.
21. Lu Yu., Ma M., Chen G., Zhou X. Can abacus course eradicate developmental dyscalculia. *Psychology in the Schools*. 2021;58(2):235–251. DOI: 10.1002/pits.22441.
22. Alesi M., Bianco A., Padulo J., Vella F. P., Petrucci M., Paoli A., Palma A., Pepi A. Motor and cognitive development: The role of karate. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*. 2014;4(2):114–120. DOI: 10.11138/mltj/2014.4.2.114.
23. Xu J., Zhong B. Review on portable EEG technology in educational research. *Computers in Human Behavior*. 2018;81:340–349. DOI: 10.1016/j.chb.2017.12.037.
24. Dębska A., Chyl K., Dzięgiel G., Kacprzak A., Łuniewska M., Plewko J., Marchewka A., Grabowska A., Jednoróg K. Reading and spelling skills are differentially related to phonological processing: Behavioral and fMRI study. *Developmental Cognitive Neuroscience*. 2019;39:100683. DOI: 10.1016/j.dcn.2019.100683.
25. Mogadam A., Keller A. E., Taylor M. J., Lerch J. P., Anagnostou E., Pang E. W. Mental flexibility: An MEG investigation in typically developing children. *Brain and Cognition*. 2018;120:58–66. DOI: 10.1016/j.bandc.2017.10.001.
26. Cykowicz Y. M. Orienting and memory to unexpected and/or unfamiliar visual events in children and adults. *Developmental Cognitive Neuroscience*. 2019;36:100615. DOI: 10.1016/j.dcn.2019.100615.
27. Вострокнутов И. Е., Григорьев С. Г., Сурам Л. И. Современные вызовы России и поиск новой парадигмы образования. *Информатизация образования и методика электронного обучения: цифровые технологии в образовании. Материалы IV Международной научной конференции*. Красноярск: Сибирский федеральный университет; 2020;2:396–403. EDN: CNYIFZ.
- [Vostroknutov I. E., Grigoriev S. G., Surat L. I. Modern challenges of Russia and the search for a new education paradigm. *Informatization of Education and Methodology of E-learning: Digital Technologies in Education. Proc. 4th Int. Sci. Conf. Krasnoyarsk, Siberian Federal University*; 2020;2:396–403. (In Russian.) EDN: CNYIFZ.]
28. Сысоев П. В., Филатов Е. М. Чат-боты в обучении иностранному языку: преимущества и спорные вопросы. *Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки*. 2023;28(1):66–72. EDN: PXGZTJ. DOI: 10.20310/1810-0201-2023-28-1-66-72.
- [Sysoyev P. V., Filatov E. M. Chatbots in teaching a foreign language: Advantages and controversial issues. *Tambov University Review: Series Humanities*. 2023;28(1):66–72. (In Russian.) EDN: PXGZTJ. DOI: 10.20310/1810-0201-2023-28-1-66-72.]
29. Киреева Н. А., Родионов А. С., Фархутдинов Р. И., Хусаинов И. Р. Разработка чат-бота по истории для применения в техническом вузе. *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. 2018;14(3):73–79. EDN: YSAZOP.
- [Kireeva N. A., Rodionov A. S., Farkhutdinov R. I., Khushainov I. R. Development of a chatbot on history for use in a technical university. *Elektrotehnicheskiye i Informatsionnyye Kompleksy i Sistemy*. 2018;14(3):73–79. (In Russian.) EDN: YSAZOP.]
30. Karrenbauer Ch., Brauner T., König C. M., Breitter M. H. Design, development, and evaluation of an individual digital study assistant for higher education students. *Educational Technology Research and Development*. 2023;71:2047–2071. DOI: 10.1007/s11423-023-10255-8.
31. Fuller J. K., Glendenning J. G. The neuroeducator: Professional of the future. *Theory into Practice*. 1985;24(2):135–137. DOI: 10.1080/00405848509543161.
32. Grubov V. V., Khramova M. V., Goman S., Badarin A. A., Kurkin S. A., Andrikov D. A., Pitsik E., Antipov V., Petushok E., Brusinskii N., Bukina T., Fedorov A. A., Hramov A. E. Open-loop neuroadaptive system for enhancing student's cognitive abilities in learning. *IEEE Access*. 2024;12:49034–49049. EDN: RRTMXU. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3383847.
33. Kurkin S. A., Grubov V. V., Maksimenko V. A., Pitsik E. N., Khramova M. V., Hramov A. E. System for monitoring and adjusting the learning process of primary schoolchildren based on the EEG data analysis. *Information and Control Systems*. 2020;5(108):50–61. EDN: IYJLLE. DOI: 10.31799/1684-8853-2020-5-50-61.
34. Fuentes-Martinez V. J., Romero S., Lopez-Gordo M. A., Minguiillon J., Rodríguez-Álvarez M. Low-cost EEG multi-subject recording platform for the assessment of students' attention and the estimation of academic performance in secondary school. *Sensors*. 2023;23(23):9361. DOI: 10.3390/s23239361.
35. Page M. J., McKenzie J. E., Bossuyt P. M., Boutron I., Hoffmann T. C., Mulrow C. D., Shamseer L., Tetzlaff J. M., Akl E. A., Brennan S. E., Chou R., Glanville Ju., Grimshaw J. M., Hróbjartsson A., Lalu M. M., Li T., Loder E. W., Mayo-Wilson E., McDonald S., McGuinness L. A., Stewart L. A., Thomas Ja., Tricco A. C., Welch V. A., Whiting P., Moher D. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews*. 2021;10(1):1–11. EDN: LZOATG. DOI: 10.1186/s13643-021-01626-4.
36. Починкова П. А., Горбатова М. А., Наркевич А. Н., Гржибовский А. М. Обновленные краткие рекомендации по подготовке и представлению систематических обзоров: что нового в PRISMA-2020? *Морская медицина*. 2022;8(2):88–101. EDN: WHNGXL. DOI: 10.22328/2413-5747-2022-8-2-88-101.
- [Pochinkova P. A., Gorbatova M. A., Narkevich A. N., Grjibovskiy A. M. Updated brief recommendations on writing and presenting systematic reviews: What's new in PRISMA-2020 guidelines? *Morskaya Meditsina*. 2022;8(2):88–101. (In Russian.) EDN: WHNGXL. DOI: 10.22328/2413-5747-2022-8-2-88-101.]
37. Frischen U., Schwarzer G., Degé F. Music lessons enhance executive functions in 6- to 7-year-old children.

Learning and Instruction. 2021;74:101442. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2021.101442.

38. Семенова В. В., Сухаревская И. А. История возникновения тьюторского сопровождения как педагогического феномена. *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. 2019;(V6):69–75. EDN: TSEHDK.

[Semenova V. V., Sukharevskaya I. A. History of tutoring as a pedagogical phenomenon. *Nauchno-Metodicheskiy Elektronnyy Zhurnal "Koncept"*. 2019;(V6):69–75. (In Russian.) EDN: TSEHDK.]

39. Ковалева Т. М., Теров А. А., Хачатрян Э. В., Грачева Н. Ю., Дудчик С. В., Карастелёв В. Е. Тьюторское сопровождение в современном образовании: от теории к практике. М.: Московский городской педагогический университет; 2023. 212 с. EDN: SXMFKK.

[Kovaleva T. M., Terov A. A., Khachatryan E. V., Gracheva N. Yu., Dudchik S. V., Karastelyov V. Ye. Tutor support in modern education: From theory to practice. Moscow, Moscow City University; 2023. 212 p. (In Russian.) EDN: SXMFKK.]

40. Максакова В. И. Педагогическая антропология: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по педагогическим специальностям. М.: Academia; 2004. 205 с. EDN: QTMSIV.

[Maksakova V. I. Pedagogical anthropology: Textbook for university students studying pedagogical specialties. Moscow, Academia; 2004. 205 p. (In Russian.) EDN: QTMSIV.]

41. Бим-Бад Б. М. Педагогическая антропология: учебное пособие. М.: УРАО; 1998. 576 с.

[Bim-Bad B. M. Pedagogical anthropology: Study guide. Moscow, University of the Russian Educational Academy; 1998. 576 p. (In Russian.)]

Информация об авторах

Букина Татьяна Викторовна, аспирант Высшей школы образования и психологии, ОНК «Институт образования и гуманитарных наук», Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия; младший научный сотрудник Балтийского центра нейротехнологий и искусственного интеллекта, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-2658-4545>; *e-mail*: bukinatatyanav@gmail.com

Храмова Марина Викторовна, канд. пед. наук, директор Высшей школы образования и психологии, ОНК «Институт образования и гуманитарных наук», Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия; старший научный сотрудник Балтийского центра нейротехнологий и искусственного интеллекта, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-6392-4580>; *e-mail*: mariny@mail.ru

Куркин Семен Андреевич, доктор физ.-мат. наук, доцент, ведущий научный сотрудник Балтийского центра нейротехнологий и искусственного интеллекта, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-3438-5717>; *e-mail*: kurkinsa@gmail.com

Андриков Денис Анатольевич, канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры «Системы автоматического управления», факультет «Информатика и системы управления», Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва,

Россия; научный руководитель «Инскултех», г. Москва, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-0359-0897>; *e-mail*: andrikovdenis@gmail.com

Гоман Сергей Станиславович, директор лицея № 23, Калининград, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0009-0002-2945-2484>; *e-mail*: maoulic23_director@edu.klgd.ru

Дедков Александр Евгеньевич, аспирант кафедры механики и процессов управления, Инженерная академия, Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0009-0008-3003-0637>; *e-mail*: 1142221021@pfur.ru

Храмов Александр Евгеньевич, доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник Балтийского центра нейротехнологий и искусственного интеллекта, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-2787-2530>; *e-mail*: hramovae@gmail.com

Information about the authors

Tatyana V. Bukina, a postgraduate student at the Higher School of Education and Psychology, ESC "Institute of Education and Humanities", Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia; Junior Researcher at the Baltic Neurotechnology and Artificial Intelligence Research Centre, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-2658-4545>; *e-mail*: bukinatatyanav@gmail.com

Marina V. Khramova, Candidate of Sciences (Education), Director of the Higher School of Education and Psychology, ESC "Institute of Education and Humanities", Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia; Senior Researcher at the Baltic Neurotechnology and Artificial Intelligence Research Centre, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-6392-4580>; *e-mail*: mariny@mail.ru

Semen A. Kurkin, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Docent, Leading Researcher at the Baltic Neurotechnology and Artificial Intelligence Research Centre, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-3438-5717>; *e-mail*: kurkinsa@gmail.com

Denis A. Andrikov, Candidate of Sciences (Engineering), Docent, Associate Professor at the "Automatic Control Systems" Department, "Informatics and Control Systems" Faculty, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; Scientific Advisor at the Inschooltech, Moscow, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-0359-0897>; *e-mail*: andrikovdenis@gmail.com

Sergei S. Goman, Director of Lyceum No 23, Kaliningrad, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0009-0002-2945-2484>; *e-mail*: maoulic23_director@edu.klgd.ru

Alexander E. Dedkov, a postgraduate student at the Department of Mechanics and Control Processes, Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0009-0008-3003-0637>; *e-mail*: 1142221021@pfur.ru

Alexander E. Hramov, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, Chief Researcher at the Baltic Neurotechnology and Artificial Intelligence Research Centre, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0003-2787-2530>; *e-mail*: hramovae@gmail.com

Поступила в редакцию / Received: 23.08.24.

Поступила после рецензирования / Revised: 23.09.24.

Принята к печати / Accepted: 24.09.24.