

DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-3-5-15

НЕЙРОТЕХНОЛОГИИ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ КАСТОМИЗАЦИИ ЖИЗНЕННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО МАРШРУТА

А. А. Федоров¹, С. А. Куркин¹ ✉, М. В. Храмова¹, А. Е. Храмов¹¹ Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

✉ kurkinsa@gmail.com

Аннотация

В настоящее время наблюдается активное развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) и быстрый рост числа сфер его применения. Не является исключением и сектор образования, который в перспективе может быть существенно трансформирован за счет применения ИИ, например, в части развития подходов к кастомизации образовательного маршрута. Одновременно активное развитие технологий нейровизуализации, а также прогресс в нейронауке и нейротехнологиях позволяют обеспечить алгоритмы ИИ важными данными о работе головного мозга обучающегося.

В статье рассматриваются вопросы кастомизации жизненно-образовательного маршрута (КЖОМ) с использованием указанных ассистирующих технологий: нейротехнологий и искусственного интеллекта. Сформулирован основной принцип функционирования предлагаемой системы КЖОМ: на основании анализа регистрируемых мультимодальных данных об обучающемся алгоритмы на базе ИИ предлагают действия для реализации обратной связи, которая обеспечит повышение эффективности и кастомизацию образовательного процесса.

Авторы предлагают модульный принцип построения системы КЖОМ и, кроме того, описывают те методы ИИ, которые могут найти применение в качестве ядра интеллектуальной подсистемы КЖОМ. В заключение представлены различные стратегии применения предложенной системы КЖОМ, которые позволят реализовать на ее базе универсальную систему поддержки принятия образовательных решений.

Ключевые слова: кастомизация жизненно-образовательного маршрута, нейротехнологии, система искусственного интеллекта, большие данные, нейронаука в образовании.

Для цитирования:

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. DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-3-5-15

NEUROTECHNOLOGY AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS KEY FACTORS IN THE CUSTOMIZATION OF THE LIFELONG LEARNING ROUTE

A. A. Fedorov¹, S. A. Kurkin¹ ✉, M. V. Khramova¹, A. E. Hramov¹¹ Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia

✉ kurkinsa@gmail.com

Abstract

Artificial Intelligence (AI) technologies are being actively developed and the number of applications is growing rapidly. The education sector is no exception, which in the future can be significantly transformed using AI, for example, in terms of the development of approaches to the customization of the educational route. At the same time, the active development of neuroimaging technologies, as well as progress in neuroscience and neurotechnology, allows providing AI algorithms with important data about the functioning of the learner's brain.

The article considers the issues of customization of the lifelong learning route (CLLR) using the mentioned assistive technologies: neurotechnologies and artificial intelligence. The basic principle of functioning of the proposed CLLR is formulated: based on the analysis of recorded multimodal data about the learner algorithms based on AI propose actions to implement feedback, which will increase the efficiency and customization of the educational process.

The modular principle of constructing the CLLR system is proposed, and the methods of AI that can find application as the core of an intelligent subsystem of CLLR are discussed. In conclusion, various strategies of application of the proposed CLLR system, which will allow to implement a universal system of educational decision-making support on its basis, are presented.

Keywords: customization of the lifelong learning route, neurotechnology, artificial intelligence system, big data, neuroscience in education.

For citation:

Fedorov A. A., Kurkin S. A., Khranova 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.) DOI: 10.32517/0234-0453-2023-38-3-5-15

1. Введение: от индивидуализации к кастомизации

Концепция обучения, выраженная лозунгом «учить всех и всему», ушла в прошлое. Главный тренд последних десятилетий — обучение отдельного индивида. Этот тренд сопровождается терминологическими баталиями и обширными дискуссиями (как в отечественном, так и зарубежном научном сообществе) по вопросам индивидуализации, персонализации, персонификации, кастомизации обучения и построения индивидуальных образовательных траекторий. Для людей, далеких от педагогики, подобные дефиниции часто означают одно и то же.

Выделим ключевые термины этих дискуссий.

Индивидуализация (1). В отечественной науке индивидуализация обучения рассматривалась в тесной связи с дифференциацией. Как в теории, так и на практике четко разграничить эти педагогические явления затруднительно. Ключевая работа на эту тему — книга Инге Унт [1].

Индивидуализация — это учет индивидуальных особенностей учащихся во всех формах и методах обучения. Индивидуализация проявляется в разных аспектах:

- как *организация учебного процесса*, при которой выбор способов, приемов, темпа обучения учитывает индивидуальные различия учащихся, позволяет создать оптимальные условия для реализации потенциальных возможностей каждого ученика;
- как один из *дидактических принципов*, предусматривающий такой подход к организации учебного процесса, при котором учитываются личностные особенности обучаемых, их социальный и академический опыт, а также уровень интеллектуального развития, познавательные интересы, социальный статус, режим жизнедеятельности и другие факторы, оказывающие влияние на успешность обучения;
- как *направления дифференциации обучаемых*: работа с одаренными, неуспевающими и выбор соответствующих педагогических технологий [2].

Индивидуализация обучения предполагает дифференциацию учебного материала, разработку систем заданий различного уровня трудности и объема, разработку системы мероприятий по организации процесса обучения в конкретных учебных группах, учитывающей индивидуальные особенности каждого учащегося.

Таким образом, в условиях традиционной системы образования индивидуализация обучения

выступает либо как средство достижения нормы (приведения участников образовательного процесса к стандарту качества), либо как механизм, позволяющий, наоборот, уходить за нормы и стандарты.

Следует отметить, что решение проблемы индивидуализации обучения невозможно с опорой исключительно на знания, уникальный опыт учителя и его интуицию. Помимо опыта и проницательности, знания теории и методики обучения, необходимо понимание природы индивидуальных различий между людьми, предпосылок и условий развития личности, что составляет основу педагогической культуры.

Со второго десятилетия двадцать первого века в образовании стал гораздо чаще встречаться термин *персонализация* (2). Это было связано с активным внедрением цифровых инструментов и систем дистанционного обучения. Участники дискуссий (главным образом представители сферы ИТ, пришедшие на поле образования) трактовали персонализацию как поиск вариативности в обучении, *базирующейся на больших данных* [3], возможность сбора которых стала главным трендом эволюционирующих систем дистанционного обучения. Мы полагаем, что главным достижением этого этапа стало не столько обращение к феномену персонализации, сколько выделение соответствующего атрибута персонализации — цифровых инструментов. Само рассмотрение данного феномена невозможно без учета цифровой трансформации образования на всех уровнях.

Включение педагогов в эту дискуссию нашло отражение в обширной полемике в 2020–2021 годах сначала в социальных сетях, затем в рамках заседания экспертного клуба «Норма и деятельность»^{*} по теме «Персонализация vs Индивидуализация», а также публикациях участников дискуссий [4, 5].

Несмотря на порой противоположные взгляды (единая точка зрения так и не была сформирована), данная дискуссия снова выделила ряд ключевых аспектов персонализации:

- создание индивидуального образовательного маршрута;
- тьютор как педагог, помогающий выстроить соответствующий маршрут;
- субъект-объектность роли учителя в процессе личностного роста учащегося.

Дополнительные дискуссии о роли взрослого, сопровождающего процесс становления лично-

^{*} Заседание клуба «Норма и деятельность» 20 мая 2020 года. https://eurekanet.ru/club_nd_20may2020/; Дашковская О. «Персонализация vs Индивидуализация»: найти 10 отличий. *Вести образования*. 30.05.2020. https://vogazeta.ru/articles/2020/5/21/edpolitics/13113-personalizatsiya_vs_individualizatsiya_nayti_10_otlichiy

сти, и его значимости, о делегировании этой роли учителю или тьютору как ассистенту/помощнику педагога обозначили одно из новых направлений дальнейших исследований в области персонализации образования.

В методологической работе [6] направления персонализации образования классифицированы не просто с позиций мирового и российского опыта, но и в контексте персонализации внутри цифрового образовательного пространства. Авторы справедливо полагают, что в настоящее время персонализация обуславливается интенсивным развитием цифрового образовательного пространства, дающего обучаемому альтернативные маршруты за счет выбора уровня сложности, быстрой обратной связи в процессе обучения, корректировки индивидуального режима обучения и др., а также обогащением за счет неформальной и информальной образовательной среды.

Таким образом, одни авторы рассматривают персонализацию как создание индивидуального образовательного маршрута (в школе или вузе), другие — как развитие индивидуальных способностей обучающегося (иногда за рамками учебного заведения и на протяжении всей жизни), третьи делают акцент на наличии ресурсов и настраиваемого, адаптирующегося с помощью цифровых технологий контента (интеллектуальный анализ образовательных данных, аналитика обучения, системы управления обучением), а четвертые обращают внимание на качество образования и возможности учета различных способов достижения учащимися своих лучших результатов.

Обратим внимание, что в данной работе не рассматривается персонализация школьного обучения, а строится модель персонализации процесса подготовки специалиста. Определяющим параметром для персонализации образования становится уровень субъекта, что предполагает создание социально-профессионального профиля личности, который отражает личностные характеристики субъекта и уровень сформированности компетенций.

Это подводит нас к третьему термину дискуссии, а именно к *кастомизированному образовательному маршруту* (3). Сам термин является новым, философско-педагогическое обоснование сущности кастомизации жизненно-образовательного маршрута только начинает обсуждаться [7]. Процессы индивидуализации и персонализации обучения постепенно охватывают все более широкие временные рамки. Решение задач индивидуализации и персонализации в пространстве профессиональной подготовки специалиста позволяет рассмотреть данные понятия в контексте Lifelong Learning — непрерывного образования в течение всей жизни [8]. Выбор альтернативных маршрутов становится важным не только при обучении в школе, вузе, на этапе переподготовки, но и в различных жизненных ситуациях, т. е. при построении так называемых жизненных маршрутов. Кастомизация жизненно-образовательного маршрута — это процесс создания уникального образователь-

ного плана, который соответствует индивидуальным потребностям и интересам человека. Этот план может охватывать формальное, неформальное и информальное обучение.

В современных условиях в контексте Lifelong Learning обучение человека не ограничивается формальными структурами, такими как школа, вуз, система повышения квалификации, где по итогам официально утвержденных программ и курсов выдаются дипломы и сертификаты. Актуальность приобретают именно неформальное и информальное обучение.

Неформальное обучение происходит вне учебных заведений, например, в рабочих группах, клубах и других сообществах. Такое обучение не имеет установленных программ и курсов, а его участники могут выбирать темы и форматы обучения по своему усмотрению. Информальное обучение происходит естественным путем в повседневной жизни, например, через опыт работы, чтение книг, просмотр видео и т. д. Оно не имеет организованной структуры и не подразумевает формальной оценки знаний. Важно отметить, что все три типа обучения взаимосвязаны и дополняют друг друга, что помогает человеку получать более глубокое и разнообразное образование. Таким образом, кастомизация жизненно-образовательного маршрута не только расширяет цели персонализации (в частности, повышает эффективность образования), но и отличается подходами и методами достижения этой цели.

Выделим теперь то общее, что формулируется в рамках любой дискуссии об индивидуализации, персонализации и кастомизации образовательного маршрута: это выбор из альтернатив, вложенных в некую образовательную траекторию. Этот выбор определяется как личными характеристиками, так и рекомендациями «системы» (учителя, тьютора и т. п.). А цифровые инструменты делают выбранный путь более комфортным, успешным или желаемым.

2. Нейротехнологии и искусственный интеллект в настройке кастомизации жизненно-образовательного маршрута

Итак, на современном этапе развития образовательных технологий мы приходим к пониманию необходимости кастомизации жизненно-образовательного маршрута (КЖОМ). Однако это невозможно сделать в ручном режиме: наставник не в состоянии управлять теми или иными образовательными траекториями своего ученика. Во-первых, это невозможно чисто физически. Во-вторых, даже если бы это было возможным, нельзя быть уверенным, что данные и квалификация наставника позволят выйти на такой уровень взаимодействия с учеником.

Какие же современные технологии могут помочь нам в решении этой амбициозной задачи — кастомизации жизненно-образовательного маршрута? На наш взгляд, нейротехнологии и методы искус-

ственного интеллекта (ИИ) — это те ассистирующие технологии, которые могут поддержать создание систем КЖОМ в плане информационного сопровождения, сбора необходимой информации о развитии ученика, а также создать виртуального помощника, который мог бы исполнять рекомендательные функции как по отношению к ученику, так и к его наставнику в сфере совместной образовательной деятельности [9, 10]. Цифровые инструменты современного образования уже сейчас радикально совершенствуют подходы к образованию, позволяя гарантировать персонализацию образовательной программы для каждого ученика [3]. Возможности современной индустрии программного обеспечения и игр позволяют легко создавать адаптивные приложения для обучения, игры и программы для школьного, студенческого и дополнительного образования. Таким образом, открываются огромные перспективы использования ИИ, который, вероятно, является одним из самых востребованных инструментов в образовании, поскольку обучение с интеллектуальными ассистентами позволяет комфортно формировать разносторонние индивидуальные знания и навыки, а также компетенции.

Мы рассматриваем ИИ как часть информационных технологий, способную решать сложные задачи в областях, где накапливаются большие наборы размеченных данных, но без хорошо развитой теории [11]. Вследствие этого ИИ и концепция КЖОМ эффективно объединяются, чтобы помочь в решении самых сложных проблем современного персонализированного образования.

Действительно, как и любые современные прикладные области, образование тоже становится цифровой отраслью, где принимаются решения, основанные на данных. Всеобщая цифровизация и, как следствие, накопление больших данных делают возможным использование методов анализа таких данных на основе технологий ИИ в образовании и педагогике, когда цифровой след обучающегося начинает играть важную роль в принятии решения о дальнейшей траектории его развития и обучения.

Необходимо иметь в виду, что, говоря об исключительных прогностических вычислительных возможностях ИИ, мы ни в коем случае не подразумеваем, что технологии ИИ в конечном итоге заменят наставников. ИИ в нашей трактовке должен дополнять учителя. Термин «*дополненный интеллект*», предложенный У. Р. Эшби еще в 1950-х годах [12], может быть более точным описанием будущего взаимодействия между данными, вычислениями и учителями/преподавателями/тьюторами и, возможно, лучшим определением для понятия «ИИ в образовании». Мы можем ожидать, что в рамках концепции дополненного интеллекта в образовании произойдет следующая трансформация: *педагоги, использующие ИИ, заменят педагогов, которые его не используют*. На рисунке 1 показана ассистирующая роль информационных технологий в персонализации образования: система

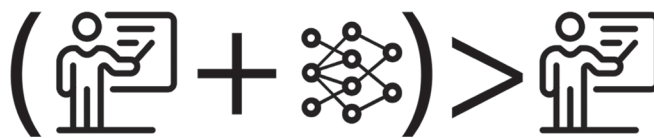


Рис. 1. Роль дополненного интеллекта в персонализации образования

Fig. 1. The role of augmented intelligence in the personalization of education

образования с ИИ лучше и эффективнее, чем система образования без него.

Мы еще раз специально обращаем внимание читателя, что не постулируем необходимость замены педагогов искусственным интеллектом, а подчеркиваем ассистирующую и дополняющую роль ИИ. Действительно, даже в самом простом варианте использования ИИ может дополнить работу учителя в классе, чтобы выявить некоторые слабые места ученика. Например, ИИ сможет определить, когда студенты пропускают конкретные вопросы или не усвоили определенный материал. Простейшая обратная связь может быть реализована через оповещения преподавателю о том, что он должен вернуться к теме снова, потому что многие студенты ее еще не понимают. Однако система может быть и более сложной: ИИ может сам вмешиваться в процесс обучения и взаимодействовать непосредственно с учеником, подсказывая и направляя его, а к преподавателю обращаться только в случае серьезных затруднений.

Однако встает вопрос о достаточности для персонализации образования накопленных данных: педагогических (успеваемость, успешность решения тех или иных учебных задач, портфолио и т. д.) и психологических (психологический профиль, результаты когнитивных тестов, активность в социальных сетях и т. д.). Уместно выстроить аналогию с медициной: анамнез болезни дает очень много сведений о пациенте, однако их недостаточно — врачу необходима также информация о текущем состоянии пациента в виде данных анализов, тестов, функциональных проб, различных визуализаций (КТ, рентгеновских снимков) и т. д. Ситуация в образовании аналогична: образовательный процесс тесно связан с возможностями обучения мозга [13]. В настоящее время данным вопросом активно занимается когнитивная нейронаука, выявляя нейрофизиологические механизмы обучения. Успехи нейронауки и нейротехнологий открывают новые горизонты для расширения образовательных подходов на основании знаний, полученных в ходе непосредственного исследования механизмов работы мозга [14, 15]. Это, в свою очередь, означает, что и в образовательном процессе возможна настройка системы обратных связей путем выявления различных биомаркеров состояния обучающегося (как психологических, так и нейрофизиологических) для повышения эффективности и индивидуализации образовательного процесса в рамках КЖОМ [16]. Выявление и интерпретация подобных маркеров невозможны без технологий ИИ.

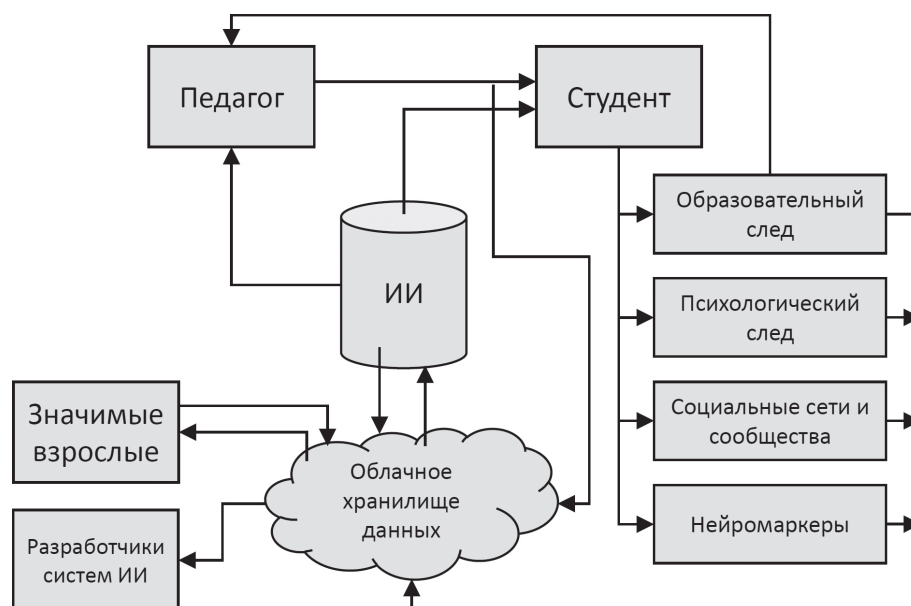


Рис. 2. Схема КЖОМ с ядром в виде системы ИИ

Fig. 2. Scheme of CLLR with a core in the form of an AI system

Такая синергия цифровых инструментов искусственного интеллекта и современных нейротехнологий позволит совершить прорыв в самом подходе к кастомизации жизненно-образовательного маршрута студента/школьника. Однако это будет требовать последовательного решения следующих задач:

- сбор данных об обучающемся от цифровых нейротехнологических устройств (ЭЭГ-системы, нейроинтерфейсы и т. д.), итогов тестирования, результатов образовательного процесса, а также образцов его активности в социальных сетях;
- хранение всех данных по единым стандартам, обеспечение безопасности такого хранения в строгом соответствии с законом о персональных данных, возможность обезличенного доступа к этим данным для развития новых методов и технологий персонализации образовательного процесса;
- создание методов автоматической обработки цифровых мультимодальных данных обучающегося в реальном времени для выявления маркеров изменения его состояния (эмоционального, психологического, когнитивного и т. д.) и последующей корректировки образовательного процесса. В современных реалиях эти методы будут обладать элементами ИИ, что автоматически ставит задачу прозрачности и объяснимости алгоритмов ИИ, используемых в образовательном процессе.

Таким образом, мы можем предложить следующую схему взаимодействия педагога, ученика/студента, ИИ и нейротехнологий в рамках системы КЖОМ (рис. 2).

Ядром данной схемы являются алгоритмы ИИ, которые на основании мультимодальных данных об

обучающемся (успешность обучения, поведенческие, психологические, нейрофизиологические характеристики и др.) формируют обратную связь для корректировки образовательного маршрута в соответствии с поставленной целью. В свою очередь, алгоритмы ИИ дообучаются при поступлении новых данных, которые накапливаются в облачном хранилище в анонимизированном виде. «Облако» пополняется в реальном времени с учетом как образовательной активности обучающегося, его активности в социальных сетях и различных образовательных сообществах, так и нейромаркеров, которые собираются в процессе анализа его поведенческой и нейрофизиологической активности. Основными участниками данной схемы являются обучающийся (например, ученик или студент) и наставник (например, педагог или тьютор). Они взаимодействуют как между собой, так и с системой ИИ, в том числе в рамках индивидуализации образовательного маршрута. Кроме того, к собираемым данным имеют доступ значимые для обучающегося взрослые (например, родители, тьюторы, психологи и др.) и разработчики систем искусственного интеллекта. Таким образом, например, родители могут следить за успехами и показателями своего ребенка.

3. Концепция работы системы КЖОМ

Основной принцип функционирования предлагаемой системы КЖОМ можно сформулировать следующим образом: на основании анализа регистрируемых мультимодальных данных об обучающемся алгоритмы на базе ИИ предлагают действия для обратной связи, которая обеспечит повышение эффективности и индивидуализацию образовательного процесса.

3.1. Модульный принцип организации системы КЖОМ

Особенностью предлагаемой гибридной информационной и программно-аппаратной системы является модульный принцип ее организации, описываемый моделью типа «матрешка» (рис. 3). Разные слои в этой модели соответствуют различным типам/модальностям регистрируемых данных о состоянии обучающегося, а в центре (ядре) находится базовая подсистема сбора и анализа данных и управления («ИИ + большие данные»), без которой невозможно функционирование системы КЖОМ (см. также рис. 2). Двухнаправленными стрелками в нижней части рисунка 3 обозначены возможные контуры обратных связей.

Оптимально осуществлять сбор данных с использованием облачных хранилищ, которые позволяют эффективно обмениваться информацией с компьютерами, смартфонами, устройствами регистрации физиологических данных и т. д. Модульный принцип организации системы заключается в том, что она может работать с различными комбинациями регистрируемых данных о состоянии обучающегося: например, могут использоваться как данные одной модальности (один слой из модели на рисунке 3), так

и мультимодальные, формирующиеся при сочетании нескольких слоев модели.

Для построения системы КЖОМ в настоящее время можно выделить следующие наиболее важные измеряемые характеристики обучающегося, соответствующие разным модальностям его состояния.

1. Психологические и психофизиологические характеристики обучающегося. К ним можно отнести психологический портрет человека, тип темперамента, тип нервной системы и высшей нервной деятельности, уровень интеллекта и др. (первый слой на рисунке 3) [17–19]. Данные характеристики оцениваются с использованием батарей специализированных тестов педагогом или психологом, при этом их оценку нужно проводить не чаще одного раза в год, поскольку большинство из них либо не изменяются в течение жизни, либо меняются медленно. Для составления психологического портрета можно, например, использовать тест Кеттелла, а для оценки уровня (коэффициента) интеллекта — тесты Равена или Айзенка. Предпочтительными будут тесты, которые дают результаты в численных шкалах, поскольку полученные результаты могут учитываться при проведении корреляционного анализа (поиска взаимосвязей между успеваемостью обучающегося и результатами тестов и т. п.), в том числе с примене-

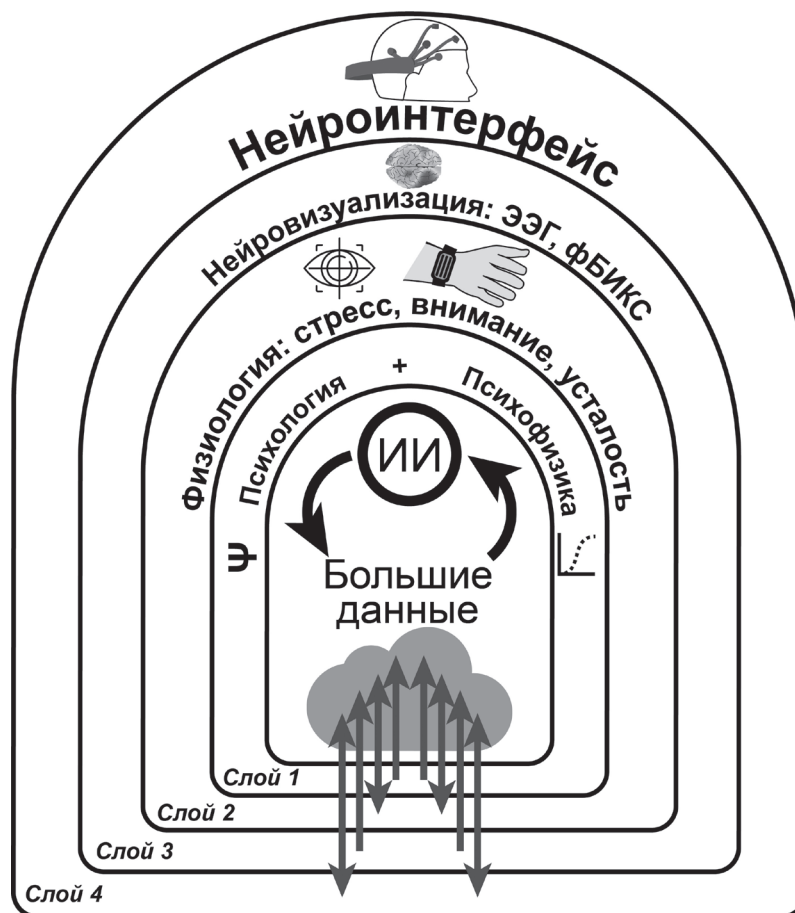


Рис. 3. Иллюстрация модульного принципа организации системы КЖОМ, описываемого моделью типа «матрешка»

Fig. 3. An illustration of the modular principle of organization of the CLLR system, described by the "matryoshka" type model

нием методов ИИ. Кроме того, удобно использовать те тесты, которые позволяют автоматизировать их прохождение и расшифровку с применением, например, планшетов или смартфонов.

Отдельно следует отметить оценку элементарных когнитивных функций (ЭКФ) обучающегося [20]. ЭКФ — это простейшие высшие когнитивные функции головного мозга человека, с помощью которых он познает мир и взаимодействует с ним. К ЭКФ, например, относятся рабочая память, фокусирование внимания и концентрация, визуальный поиск и др. Оценка степени их развитости можно также проводить с помощью специальных тестов (например, таблиц Шульте, корректурных проб, теста на рабочую память в парадигме Стернберга). ЭКФ могут развиваться в процессе обучения. Практически любая сложная когнитивная задача может быть разложена на набор используемых ЭКФ, поэтому их оценка дает представление о потенциале обучающегося при решении широкого спектра задач. Однако принципиально важным является умение эффективно комбинировать (совместно использовать) несколько ЭКФ для решения поставленной сложной задачи. Оценивать способность комбинирования нескольких ЭКФ можно с помощью специальных тестов (например, модифицированных таблиц Шульте [21]).

2. Физиологические характеристики обучающегося. К ним относятся показатели жизненно важных функций человека (пульс, особенности электрокардиограммы, частота дыхания, оксигенация крови, температура тела, артериальное давление, проводимость кожи, мышечная активность, параметры движения глаз, время реакции и др.), по которым можно судить о состоянии систем и функций организма (второй слой на рисунке 3). Вышеперечисленные характеристики могут измеряться в большинстве случаев непрерывно, с помощью специальных датчиков и приборов, например, с использованием «умных» браслетов, систем айтрекинга (для оценки траекторий движения зрачков, саккад и т. д.), электромиографии и т. п. Анализируя физиологические характеристики обучающегося, можно многое сказать о его состоянии, например, определить уровень стресса, усталости, внимания и т. п.

3. Данные нейровизуализации (третий слой на рисунке 3). Это информация об активности головного мозга человека, измеряемая с помощью электроэнцефалографии (ЭЭГ) или функциональной ближней инфракрасной спектроскопии (фБИКС) [22–24]. Другие технологии нейровизуализации малоприменимы для системы КЖОМ в силу сложности их использования (крупные габариты, высокая стоимость, сложная организация процесса измерений и др.). Данные нейровизуализации можно анализировать для выявления биомаркеров когнитивной усталости, уровня сосредоточенности на решении когнитивной задачи, когнитивного ресурса, эффективности усвоения информации, работы памяти, потенциалов ошибок и ряда других. Получаемая информация о динамике биомаркеров позволяет

дополнить картину состояния обучающегося информацией о работе его головного мозга и понять, насколько эффективно протекает процесс обучения. Ограничением применения указанных технологий нейровизуализации является невозможность или крайне высокая сложность организации непрерывного мониторинга активности головного мозга в процессе обучения (по крайней мере, сразу на уровне группы обучающихся). В связи с этим наиболее эффективным сценарием использования технологий нейровизуализации в системе КЖОМ является проведение одиночных расширенных диагностик, в которых будут даваться специальные нагрузочные батареи тестов (в частности, можно использовать уже упоминавшиеся тесты Кеттелла, Равена, Айзенка и др.) с параллельной регистрацией мозговой активности. Можно ограничиться невысокой частотой проведения подобных диагностик (устраивать их только в начале нового учебного модуля — четверти, семестра и т. п.). Их целью является оценка реакций мозга на высокую когнитивную нагрузку и выявление проблемных моментов. Например, такая диагностика может выявить, что у обучающегося возникают сложности с концентрацией внимания или быстро развивается когнитивная усталость, что при невысоких результатах тестирования может объяснить их причины.

4. Характеристики обучающегося, оцениваемые с помощью нейроинтерфейса (четвертый слой на рисунке 3). Эти данные могут быть получены за счет добавления биологической обратной связи (БОС) в описанную выше технологию диагностики с применением методов нейровизуализации [25]. БОС в данном случае заключается в непрерывном мониторинге показателей обучающегося, оцениваемых по уже описанным биомаркерам (когнитивной усталости, уровня внимания и др.), и предъявлении ему информации об уровне данных показателей и их изменениях. Задача обучающегося при проведении диагностики с использованием нейроинтерфейса — пройти нагрузочные тесты и сознательно управлять контролируемыми отслеживаемыми показателями с помощью мультимедийных, игровых и других приемов в заданной области значений, соответствующих норме. Такой подход позволяет обучающемуся развить навыки саморегуляции важных для обучения когнитивных процессов и научиться более эффективно использовать свой когнитивный ресурс, а обучающему — более корректно оценить когнитивные возможности обучающегося, когда он эффективно выполняет тестовые задания за счет оптимального распределения своего когнитивного ресурса. Таким образом, нейроинтерфейс реализует не просто диагностику, а диагностику-тренировку. По частоте применения нейроинтерфейс аналогичен диагностике с нейровизуализацией, однако в случае необходимости для отдельных обучающихся может быть организован курс тренировок с использованием нейроинтерфейса для улучшения навыков саморегуляции.

Отдельным важным блоком данных, который используется при реализации системы КЖОМ, является информация об успеваемости обучающегося, которая может быть выражена в оценках, результатах тестирований, экзаменов и т. п.

3.2. Реализация обратной связи в системе КЖОМ

Обратная связь (ОС) в системе КЖОМ организует-ся с применением методов ИИ на всех слоях модели (при использовании данных разных модальностей о состоянии обучающегося) и в зависимости от этого осуществляется различными способами, с разными временными задержками. При реализации ОС на первом слое модели она будет направлена на учет психологических, психофизиологических характеристик обучающегося и степени развитости его ЭКФ при построении персонализированного образовательного маршрута. ОС в данном случае реализуется не мгновенно, а на протяжении длительного времени в процессе обучения на основании рекомендаций, которые ИИ дает учителю/наставнику и обучающемуся, анализируя индивидуальные характеристики. Например, если тесты выявляют у обучающегося недостаточное развитие ЭКФ «визуальный поиск», то система предложит включить в его образовательную программу дисциплины, которые будут способствовать развитию данной ЭКФ. Возможен сценарий, когда система дополнительно предложит обучающемуся периодически выполнять упражнения, направленные на развитие отстающей ЭКФ, при этом в случае работы с детьми такие упражнения могут быть организованы в игровой форме с применением мобильного телефона. Смартфон в данном случае выступает эффективным инструментом коммуникации с обучающимся и реализации ОС.

На уровне второго слоя модели ОС должна быть направлена на нормализацию физиологических характеристик обучающегося для достижения им состояния, наилучшего с точки зрения обучения. В частности, необходимо контролировать уровни стресса, усталости, внимания и др. В данном случае ОС реализуется с минимальной временной задержкой путем подачи учителю/наставнику и обучающемуся рекомендаций, направленных на нормализацию выходящих за пороги характеристик. Например, если система выявляет высокий уровень стресса у обучающегося, то она предложит учителю обратить на это внимание и снизить нагрузку и/или дать отдых.

«Быстрая» ОС на уровне третьего слоя может быть реализована с помощью нейроинтерфейса из четвертого слоя, как это было описано выше. С другой стороны, получаемая с использованием нейровизуализации информация позволяет реализовать и «медленную» ОС по аналогии с первым слоем. В данном случае ОС будет направлена на нормализацию и тренировку отстающих функций головного мозга. Например, если система выявляет проблемы с концентрацией внимания у обучающегося, то она предлагает варианты решения, основанные на специальных упражнениях и/или персонализации об-

разовательного маршрута (аналогично ОС на уровне первого слоя).

Четвертый слой естественным образом включает в себя «быструю» ОС.

Заметим, что реализация ОС на всех уровнях модели обеспечивается с помощью ИИ, который выполняет анализ измеренных индивидуальных характеристик обучающегося и определяет наиболее эффективный для него способ реализации ОС.

3.3. Технологии ИИ для системы КЖОМ

Очевидно, что эффективность работы системы КЖОМ будет определяться не только качеством и количеством регистрируемых данных о состоянии обучающегося, но и работой алгоритмов ИИ, заложенных в ее основу. Обсудим, какие методы ИИ наиболее востребованы для системы КЖОМ.

Как уже отмечалось выше, технология ИИ эффективна там, где нельзя задать четкие правила, формулы и алгоритмы для решения задачи. Технологии ИИ или, даже точнее, машинного обучения (*англ.* machine learning, ML) предполагают, что вместо реализации некоторой заранее сформулированной логической формулы на базе четких инструкций алгоритм обучают с помощью большого количества заранее подготовленных данных и различных методов, которые дают компьютерной программе возможность выявить эту формулу на основе эмпирических данных и тем самым научиться выполнять задачу в будущем, даже в несколько иных условиях. Работа с такими размеченными данными для поиска закономерностей традиционно называется «добыча данных» (*англ.* data mining) [26]. Базовые стратегии применения ML можно разделить на следующие широкие категории в зависимости от характера входных данных и подходов к обучению:

1. Обучение с учителем (или контролируемое машинное обучение) представляет собой стратегию, при которой алгоритм ML изначально получает обучающие данные (примеры входов и их желаемых выходов в виде обучающих наборов данных). Таким образом, ML обучается общему правилу, которое ассоциирует данные входа и выхода.
2. Обучение без учителя (или неконтролируемое машинное обучение) предполагает, что алгоритму обучения не задаются ассоциации между входом и выходом, т. е. он самостоятельно ищет структуру во входных данных.
3. Обучение с подкреплением подразумевает, что машинное обучение взаимодействует с внешней динамической средой, в которой алгоритм должен выполнить определенную цель (например, прогнозировать состояние пациента или предлагать варианты ОС в системе КЖОМ). При трансформации задач алгоритм ML получает обратную связь, аналогичную вознаграждению, которое он пытается максимизировать.
4. Глубокое обучение. Это тип обучения представлениям данных, включающий в себя вычис-

лительные модели, состоящие из нескольких слоев обработки, с несколькими уровнями абстракции [27]. Начиная с исходных входных данных, каждый слой преобразует свое представление входных данных для слоя более высокого уровня. В результате более высокие уровни репрезентации, число которых может достигать нескольких тысяч, усиливают свойства (аспекты) входных данных, важные для дискриминации, и подавляют нерелевантные вариации данных.

Все задачи, возложенные на ИИ при реализации системы КЖОМ, сводятся к вышеперечисленным категориям. Поскольку при работе на разных слоях модели ИИ предстоит анализировать разнородные данные различных модальностей, то и методы ИИ варьируются в зависимости от задачи и типа данных. В частности, можно выделить следующие наиболее важные функции ИИ в системе КЖОМ:

1) Выявление биомаркеров, соответствующих определенным состояниям человека (например, усталости, стресса и т. п.), по данным физиологических показателей человека и нейровизуализации. Чаще всего речь идет об анализе временных реализаций измеряемой характеристики (сигналов), и фактически задача для ИИ сводится к поиску скрытых закономерностей в данных и классификации.

2) Отнесение обучающегося к той или иной группе на основании анализа заданного признака (например, на основании результатов оценки ЭКФ нужно отнести человека к группе «норма» или «пониженный показатель» и т. п.). Задача сводится к кластеризации или классификации данных.

3) Принятие решения о выборе варианта ОС из имеющихся. Это задача по прогнозированию и принятию решений. Технологии ИИ, которые окажутся эффективными в данном случае, — это экспертные системы, основанные на нечеткой логике, использовании глубокого обучения и построении регрессионных моделей. Важным элементом реализации данной подсистемы является поиск корреляций между выявленными биомаркерами/характеристиками и успеваемостью обучающегося (например, между уровнем развития ЭКФ и оценками ученика).

Отметим, что методы машинного обучения, такие как различные типы искусственных нейронных сетей, классификаторов, деревьев принятия решений и т. д. [28], предпочтительнее для всестороннего нелинейного анализа данных по сравнению с традиционными, например, статистическими, методами. Во-первых, особенности рассматриваемого явления анализируются всесторонним образом: существует возможность выявления как линейных, так и нелинейных закономерностей. Во-вторых, анализ больших данных позволяет не только отвечать на ранее поставленные вопросы (т. е. подтверждать уже высказанные гипотезы), но и формулировать новые гипотезы и/или устанавливать новые закономерности [29]. Все эти преимущества ML важны для развития системы КЖОМ.

Одна из основных проблем при использовании ML — это нехватка данных, которые являются краеугольным камнем любой системы искусственного интеллекта, потому что без данных система на основе ИИ остается только набором алгоритмов, не позволяющим построить модель на этапе машинного обучения по большим данным.

3.4. Возможные стратегии применения системы КЖОМ

Модульный принцип организации системы КЖОМ позволяет реализовать разнообразные сценарии ее использования, гибко подстраиваться под имеющиеся в распоряжении технологии и поставленные задачи. Можно выделить две качественно различающиеся стратегии применения системы:

1) Непрерывный мониторинг состояния обучающегося (чаще всего речь идет о физиологических показателях, например, биомаркерах усталости) в процессе обучения и реализация «быстрой» ОС, которая направлена на нормализацию физиологических характеристик обучающегося для достижения им состояния, наилучшего с точки зрения обучения. Как правило, такой сценарий реализуется на уровне второго слоя модели.

2) Тестирование/диагностика обучающегося в заданных реперных точках по времени и реализация «медленной» ОС. В данном случае ОС будет направлена на нормализацию и тренировку отстающих ЭКФ, функций головного мозга и т. п. и сможет учитывать психологический портрет обучающегося. Такой сценарий может быть реализован на всех уровнях модели.

Описанные стратегии не являются взаимоисключающими, а могут комбинироваться и эффективно дополнять друг друга. Максимальная функциональность и эффективность системы достигаются при использовании всех слоев модели, поскольку это дает более глубокое понимание о протекании процесса обучения и возникающих проблемах и барьерах.

Таким образом, модульный принцип организации, возможность сочетания различных слоев модели и реализации разных стратегий применения делают предложенную систему КЖОМ универсальной системой поддержки принятия образовательных решений.

4. Заключение

В настоящее время мы наблюдаем взрывное развитие технологий искусственного интеллекта и быстрый рост числа сфер его применения. Очевидно, что данные процессы затронут и сектор образования: в ближайшем будущем ИИ может существенно трансформировать его, например, в части развития подходов к кастомизации образовательного маршрута. Однако ИИ не сможет эффективно решать такие задачи без сбора больших данных о состоянии и успеваемости обучающихся, которые необходимы ему для обучения и принятия решений. Среди этих

данных наибольшую ценность имеют объективные характеристики состояния обучающегося, которые отражают механизмы усвоения информации и когнитивные процессы в головном мозге. Частично потребности ИИ в больших данных при обучении удовлетворяет психология с батареями тестов для создания психологического портрета человека, оценки развитости его элементарных когнитивных функций, а также физиология, которая позволяет оценить показатели жизненно важных функций человека. Однако без детального мониторинга когнитивных процессов картина состояния обучающегося остается неполной: в ней не хватает важного блока информации о главной с точки зрения образования подсистеме человека — головном мозге. В настоящее время активное развитие технологий нейровизуализации, прогресс в нейронауке и нейротехнологиях позволяют устранить этот пробел и дополнить данные для ИИ информацией о работе головного мозга обучающегося. Все это приводит нас к описанной в настоящей работе концепции модульной системы кастомизации жизненно-образовательного маршрута, ключевым фактором развития которой является синергия нейротехнологий и искусственного интеллекта.

Финансирование

Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического академического лидерства Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта («Приоритет-2030») при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации. С. А. Куркин благодарит РФФИ (грант № 19-29-14101).

Funding

The work was carried out within the framework of the strategic academic leadership program of the Immanuel Kant Baltic Federal University (“Priority-2030”) under the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. Semen A. Kurkin thanks RFBR (Grant No 19-29-14101).

Список источников / References

1. Унт И. Э. Индивидуализация и дифференциация обучения. М.: Педагогика; 1990. 190 с. EDN: SUSDWD
[Unt I. E. Individualization and differentiation of learning. Moscow, Pedagogika; 1990. 190 p. (In Russian.) EDN: SUSDWD]
2. Селевко Г. К. Современные образовательные технологии. М.: Народное образование; 1998. 256 с.
[Selevko G. K. Modern educational technologies. Moscow, Narodnoe obrazovanie; 1998. 256 p. (In Russian.)]
3. Другова Е. А., Журавлева И. И., Захарова У. С., Сотникова В. Е., Яковлева К. И. Искусственный интеллект для учебной аналитики и этапы педагогического проектирования: обзор решений. *Вопросы образования*. 2022;(4):107–153. EDN: BYFFFX. DOI: 10.17323/1814-9545-2022-4-107-153
[Drugova E. A., Zhuravleva I. I., Zakharova U. S., Sotnikova V. E., Yakovleva K. I. Artificial intelligence for learning analytics and instructional design steps: An overview of solutions. *Educational Studies Moscow*. 2022;(4):107–153. (In Russian.) EDN: BYFFFX. DOI: 10.17323/1814-9545-2022-4-107-153]
4. Кушнир М. Э., Рабинович П. Д., Заведенский К. Е., Царьков И. С. Образовательный профиль студента как инструмент персональной образовательной логики. *Высшее образование в России*. 2021;30(12):48–58. EDN: CGJRCF. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-12-48-58
[Kushnir M. E., Rabinovich P. D., Zavedensky K. E., Tsarkov I. S. Student's learning profile is a tool of personal learning logistics. *Higher Education in Russia*. 2021;30(12):48–58. (In Russian.) EDN: CGJRCF. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-12-48-58]
5. Комаров Р. В., Ковалева Т. М. Персонализация образовательного процесса: 3D-пространство интерпретаций. *Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Педагогика и психология*. 2021;(1(55)):8–21. EDN: TNSPKP. DOI: 10.25688/2076-9121.2021.55.1.01
[Komarov R. V., Kovaleva T. M. Personalization of the educational process: 3D space of interpretations. *MCU Journal of Pedagogy and Psychology*. 2021;(1(55)):8–21. (In Russian.) EDN: TNSPKP. DOI: 10.25688/2076-9121.2021.55.1.01]
6. Зеер Э. Ф., Крежевских О. В. Концептуально-теоретические основы персонализированного образования. *Образование и наука*. 2022;24(4):11–39. EDN: JXGKAX. DOI: 10.17853/1994-5639-2022-4-11-39
[Zeer E. F., Krezhevskikh O. V. Conceptual and theoretical foundations of personalised learning. *The Education and Science Journal*. 2022;24(4):11–39. (In Russian.) EDN: JXGKAX. DOI: 10.17853/1994-5639-2022-4-11-39]
7. Fedorov A. A., Budarina A. O., Polupan K. L., Zhitnevich D. G. Digital reform of higher education: Implementation experience. *Samara Journal of Science*. 2022;11(2):325–331. EDN: DHVWV. DOI: 10.55355/snv2022112311
8. Колесникова И. А. Непрерывное образование как феномен XXI века: новые ракурсы исследования. *Непрерывное образование: XXI век*. 2013;1(1):2–18. EDN: RX-QXHD. DOI: 10.15393/j5.art.2013.1941
[Kolesnikova I. A. Lifelong education in the 21st century: New research perspectives. *Lifelong Education: 21st Century*. 2013;1(1):2–18. (In Russian.) EDN: RXQXHD. DOI: 10.15393/j5.art.2013.1941]
9. Григорьев С. Г. Искусственный интеллект в образовании. *Физико-математическое образование: цели, достижения и перспективы: Материалы Международной научно-практической конференции*. Минск: БГПУ; 2022:20–24. EDN: GOKXAM.
10. Grigoriev S. G. Artificial intelligence in education. *Physics and Mathematics Education: Goals, Achievements, and Prospects: Proc. Int. Scientific and Practical Conf.* Minsk, BSPU; 2022: 20–24. (In Russian.) EDN: GOKXAM]
11. Grigoriev S. G., Sabitov R. A., Smirnova G. S., Sabitov Sh. R. The concept of the formation and development of a digital intellectual ecosystem of blended university learning. *Informatics and Education*. 2020;(5):15–23. EDN: LMWOIT. DOI: 10.32517/0234-0453-2020-35-5-15-23
12. Peng Y., Zhang Y., Wang L. Artificial intelligence in biomedical engineering and informatics: An introduction and review. *Artificial Intelligence in Medicine*. 2010;48(2-3):71–73. DOI: 10.1016/j.artmed.2009.07.007
13. Ashby W. R. An introduction to cybernetics. London, UK, Chapman & Hall Ltd.; 1957. 296 p.
14. Thomas M. S. C., Ansari D., Knowland V. C. P. Annual research review: Educational neuroscience: Progress and prospects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. 2019;60(4):477–492. DOI: 10.1111/jcpp.12973
15. Goswami U. Neuroscience and education: From research to practice? *Nature Reviews Neuroscience*. 2006;7(5):406–413. DOI: 10.1038/nrn1907
16. Bukina T. V., Khramova M. V., Kurkin S. A. Modern research on primary school children brain functioning in the learning process: Review. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Applied Nonlinear Dynamics*. 2021;29(3):449–456. EDN: UATPQA. DOI: 10.18500/0869-6632-2021-29-3-449-456
17. 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: IYJJLE. DOI: 10.31799/1684-8853-2020-5-50-61

17. Andretta J. R., Worrell F. C., Mello Z. R. Predicting educational outcomes and psychological well-being in adolescents using time attitude profiles. *Psychology in the Schools*. 2014;51(5):434–451. DOI: 10.1002/pits.21762

18. Virtanen T. E., Vasalampi K., Torppa M., Lerkkanen M.-K., Nurmi J.-E. Changes in students' psychological well-being during transition from primary school to lower secondary school: A person-centered approach. *Learning and Individual Differences*. 2019;69:138–149. DOI: 10.1016/j.lindif.2018.12.001

19. Donnelly J. E., Hillman C. H., Castelli D., Etnier J. L., Lee S., Tomporowski P., Lambourne K., Szabo-Reed A. N. Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: A systematic review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2016;48(6):1197–1222. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000901

20. Decker S. L., Hale J. B., Flanagan D. P. Professional practice issues in the assessment of cognitive functioning for educational applications. *Psychology in the Schools*. 2013;50(3):300–313. DOI: 10.1002/pits.21675

21. Vernon P. A. Der Zahlen-Verbindungs-Test and other trail-making correlates of general intelligence. *Personality and Individual Differences*. 1993;14(1):35–40. DOI: 10.1016/0191-8869(93)90172-Y

22. Antonenko P. D., van Gog T., Paas F. Implications of neuroimaging for educational research. *Handbook of Research on Educational Communications and Technology*. Springer, New York, NY, 2014:51–63. DOI: 10.1007/978-1-4614-3185-5_5

23. Wu C. L., Lin T. J., Chiou G. L., Lee C. Y., Luan H., Tsai M. J., Potvin P., Tsai C. C. A systematic review of MRI neuroimaging for education research. *Frontiers in Psychology*. 2021;12:617599. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.617599

24. 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

25. Hramov A. E., Maksimenko V. A., Pisarchik A. N. Physical principles of brain-computer interfaces and their applications for rehabilitation, robotics and control of human brain states. *Physics Reports*. 2021;918:1–133. DOI: 10.1016/j.physrep.2021.03.002

26. Ahmad P., Qamar S., Rizvi S. Q. A. Techniques of data mining in healthcare: A review. *International Journal of Computer Applications*. 2015;120(15):38–50. DOI: 10.5120/21307-4126

27. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning. *Nature*. 2015;521(7553):436–444. DOI: 10.1038/nature14539

28. Alpaydin E. Introduction to machine learning. London, England, MIT press; 2020. 683 p.

29. Mayer-Schönberger V., Ingelsson E. Big Data and medicine: A big deal? *Journal of Internal Medicine*. 2018;283(5):418–429. DOI: 10.1111/joim.12721

Информация об авторах

Федоров Александр Александрович, доктор филос. наук, профессор, ректор, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-5501-3149>; *e-mail*: alafedorov@kantiana.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

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*: mhramova@gmail.com

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*: aekhramov@kantiana.ru

Information about the authors

Aleksandr A. Fedorov, Doctor of Sciences (Philosophy), Professor, Rector, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-5501-3149>; *e-mail*: alafedorov@kantiana.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

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*: mhramova@gmail.com

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*: aekhramov@kantiana.ru

Поступила в редакцию / Received: 17.02.2023.

Поступила после рецензирования / Revised: 04.03.23.

Принята к печати / Accepted: 14.03.23.