

## Нейропедагогика: возможности и ограничения исследования электронного обучения методами нейротехнологий


**Максим Анатольевич Сорочинский**

Кандидат педагогических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова

Якутск, Россия


ma.sorochinskiy@s-vfu.ru

 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 19.10.2023

Принята 16.11.2023

Опубликована 15.12.2023

 10.25726/d9183-1673-0694-n

### Аннотация

С развитием технологий и новых научных направлений происходит консолидация знаний и методов различных наук. Одним из перспективных направлений в современных педагогических исследованиях является нейропедагогика. Исходя из этого, целью исследования является определение возможностей и ограничений использования нейротехнологий в образовании, а именно, для исследования электронного обучения и его улучшения. В работе проводится анализ результатов по исследованию образовательного видеоконтента, который автор проводил в течении последних двух лет. Использовались такие методы исследования как электроэнцефалография (ЭЭГ) и айтрекинг. На основе полученного опыта делается вывод о возможностях (оценка когнитивной нагрузки, определение уровней «концентрации» и «медитации», отслеживания фиксации на образовательных материалах) и ограничениях (цена и доступность оборудования и программного обеспечения, сложность интерпретации результатов, этические вопросы) использования нейротехнологий для анализа образовательного контента. Возможности айтрекинга позволяют исследователям получить данные о том, в каком месте студент, в ходе изучения образовательных материалов фиксирует свой взгляд. С помощью этого можно отслеживать удобство восприятия материалов и то, как воспринимается текст, картинки и другая визуальная информация. Вслед за тем куда смотрит студент, можно определить какое количество времени он тратит на изучения тех или иных моментов, определить продолжительность фиксации. Это позволяет определить на какие части материала обращают больше внимание, а на какие меньше.

### Ключевые слова

нейропедагогика, ЭЭГ, айтрекинг, образовательный контент, когнитивные науки, образование, педагогика.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых – кандидатов наук Российской Федерации (МК-1901.2022.2).

### Введение

Благодаря развитию и совершенствованию технологий происходят значительные изменения во всех сферах жизни людей, в том числе и в образовании. Такие направления как искусственный интеллект, большие данные, нейротехнологии развиваются стремительными темпами. Электронное обучение является востребованной и популярной формой обучения, с каждым годом появляется все больше и больше видеолекций, и других цифровых ресурсов, над качеством которых необходимо

задуматься. Основной идеей нейропедагогики и использования нейротехнологий в образовании является получение более объективных данных об образовательном контенте, основываясь на не контролируемых данных человека (мозговая активность, данные ЭМГ, айтрекинг), что может говорить об большей объективности при анализе.

Нейропедагогика (образовательная нейронаука, нейрообразование) — «научное направление, объединившее когнитивные науки, нейронауку, педагогическую психологию, методику, дидактику и другие связанные дисциплины для исследования взаимосвязей между физиологическими процессами мозга и обучением» (Meltzof, Kuhl, Movellan, Sejnowski, 2009). Также развивается новое направление – нейродидактика (Зеер, 2021). Исходя из этого, отмечаются следующие перспективные направления применения нейротехнологий в образовании: прогнозирование продуктивности учебного процесса; обучение самоконтролю на основе биологической обратной связи; выявление особенностей когнитивных и аффективных состояний учащихся в режиме реального времени при обучении отдельным предметам; изучение эффектов когнитивной нагрузки для оптимизации подачи учебного материала (Гнедых, 2021).

Исходя из этого, нейропедагогика направлена на изучение взаимосвязи между теми (физиологическими) процессами, которые происходят у нас в мозге и процессом обучения. Несмотря на то, что мы еще много не знаем о деятельности нашего мозга, использование методов нейротехнологий в исследовании педагогических проблем является актуальным в наше время.

### **Материалы и методы исследования**

Целью исследования является определение возможностей и ограничений использования нейротехнологий в образовании, а именно, для исследования электронного обучения (образовательного контента) и его улучшения. Рассматривается метод регистрации мозговой активности на основе технологии электроэнцефалографии (ЭЭГ) и метод отслеживания движения глаз – айтрекинг. На основе данных, полученных в ходе двух лет личного опыта изучения использования нейротехнологий в образовании и анализе образовательного контента, были определены возможности и недостатки данных методов применительно к сфере образования.

Работа по изучению возможностей и ограничений исследования электронного обучения методами нейротехнологий включала в себя теоретические методы исследования, среди которых: определение понятия «нейропедагогика», анализ использования нейротехнологий в образовании, обобщение имеющегося опыта по проблеме исследования. В качестве эмпирических методов использованы ЭЭГ и айтрекинг для снятия показателей активности головного мозга и отслеживания движения глаз.

Нейротехнологии в педагогической науке начали использовать в 1988 г., когда Герхард Прайс определил новый термин – «нейродидактика», «направленный на обозначения междисциплинарной области, существующей на пересечении нейронаук, педагогики и психологии, в рамках которого разрабатываются вопросы организации условий эффективного обучения, основанного на результатах исследований функционирования структур головного мозга и нервной системы» (Куликова, 2014).

Активная фаза развития, как отдельного направления, в нашей стране приходится на 1997-2000 гг. (работы В. А. Москвина, Н. В. Москвиной, Н. В. Еремеевой, Т. П. Хризман и др.) (Сорочинский, Корякин, 2022). Проводятся эксперименты по исследованию образования на основе использования ЭЭГ и айтрекинга, в которых также отмечаются возможности и ограничения рассматриваемых методов. Например, данные об визуальных процессах могут быть весьма полезными для оптимизации педагогической практики и разработки эффективных образовательных материалов. Метод айтрекинга был использован для исследования специфики восприятия информации, обучающимися с различными уровнями образования, возраста, пола или способностей (Абабкова, Розова, 2022). Полученные данные, могут помочь педагогам в более точной адаптации материалов к уровню и особенностям каждого обучающегося. Главным достоинством использования технологии айтрекинга является объективность результатов анализа, так как зрачок глаза совершает рефлексорные движения, которыми человек не может управлять (Wolf, Seernani, 2023).

В одном из исследований [9] с помощью айтрекера было определено, что обучаемые достигали лучших результатов после просмотра лекций с лектором, чем без него. Кроме этого, присутствие лектора может положительно влиять и приводить к уменьшению когнитивной нагрузки во время просмотра видеолекции (Wang, Antonenko, Keil, Dawson, 2020).

Помимо ученых в университетах и лабораториях, вопросами использования исследования образования занимаются крупные компании-разработчики нейроинтерфейсов которые тестируют их работу в школах, отслеживая уровень фокусировки учеников на занятии (Sorochinskiy, Koryakin, Cherepanov, 2023). Исследователи предпринимают попытки использования ЭЭГ как инструмента выявления «слабых» учеников в процессе перевернутого обучения и на этой основе использование когнитивно-ориентированной системы рекомендации видеолекций (Shaw, Patra, Pradhan, Mishra, 2022). Ведется работа по обнаружению блуждания мыслей (мысли, не связанные с задачей или мысли, независимые от стимулов) в процессе электронного обучения для улучшения результатов обучения (Tang, Liang, Li, 2023). С помощью ЭЭГ проверяются различные образовательные стратегии, например преимущества генеративного обучения (Pi, Zhang, Liu, Zhou, Yang, 2022).

### **Результаты и обсуждение**

Одним из методов нейронаук является айтрекинг (или окулография), который позволяет отслеживать микродвижения наших глаз и точки фокусировки. В основе методики лежит оценка отражения излучения инфракрасного спектра роговицей глаза (Николаева, Сутормина, 2020; Соловьева, Вениг, Белых, 2021). Технология, отслеживающая движения глаз, позволяет проследить последовательность, с которой глаза наблюдателя фиксируют различные части рассматриваемого объекта. Данное направление «активно используется в маркетинге, изучении покупательской способности, в дизайне различных электронных ресурсов (сайтов, игр, приложений и др.), а также, последнее время, в образовательной деятельности» (Dong, Ying, Yang, Tang, Zhan, Liu, Meng, 2019).

Электроэнцефалография (ЭЭГ) – представляет собой запись электрической активности мозга с помощью электродов, закреплённых на коже головы. По данным ЭЭГ можно точно сказать, когда активность мозга изменилась, но лишь приблизительно определить, в какой точке это произошло. В последние годы большое развитие получили портативные ЭЭГ – это облегчает процесс проведения исследований (Сорочинский, Корякин, 2022).

Это не единственные методы, которые могут использоваться, однако они являются одними из самых доступных и широко применяемых. Используя данные методы, можно получить представление о том, как наш мозг реагирует на образовательный контент и, на основе этого, попытаться разработать эффективные стратегии обучения.

Был проведен цикл пилотных экспериментов, которые позволили, с одной стороны, протестировать технологии на практике, изучить оборудование, а с другой, выявить ограничения и преимущества их использования. ЭЭГ использовалось в исследовании уровня внимания обучаемых при просмотре образовательных видеоматериалов с использованием нейрообратной связи (Sorochinsky, Koryakin, Pоров, 2022), а также влияние знакомого и незнакомого лектора на уровень внимания и усвоение информации в видеолекции (Sorochinskiy, Koryakin, Cherepanov, 2023). Данные ЭЭГ регистрировались с помощью беспроводного нейроинтерфейса NeuroPlay-6C. Общее количество электродов – 8. Количество регистрируемых каналов – 6 (Fp1, Fp2, T3, T4, O1, O2, GND (на лбу) и REF (на мочке левого уха)). Используемый тип электродов – сухие, покрытые Ag/AgCl. Передача данных происходит через Bluetooth 4.0.

Для обработки полученных данных использовалась программа NeuroPlayPro. В программном обеспечении присутствует несколько шкал: «концентрация» – показатель (0-100%), позволяющий понять, насколько человек в данный момент умственно загружен (основана на анализе бета и тета ритма с отведений Fp1 и Fp2); «внимание» – шкала для нейротренингов основанная на анализе низкого бета-ритма от 15 до 20 Гц и тета ритма с отведений Fp1 и Fp2; «медитация» – показатель (0-100%), направленный на повышение мощности альфа-ритма у человека, улучшает стрессоустойчивость и

расслабление (использует отведения O1 и O2). Все шкалы интерпретируются на основе разработанного алгоритма компании-разработчика программного обеспечения.

Айтрекинг использовался в качестве метода для оценки восприятия различных форм представления образовательных материалов и для определения разницы в распределении внимания между видео с лектором и без лектора.

В первом случае тестировалась программа, которая позволяет регистрировать движения глаз с помощью обычной веб-камеры и специализированного программного обеспечения (GazeRecorder). Максимальная частота регистрации в ходе проведения эксперимента – 30 Гц. Программа позволяет записывать наблюдения за глазами пользователей и воспроизводить визуализированную запись с отображением «тепловой карты» движения глаз (Никифоров, Сорочинский, 2023). Во втором случае применялся стационарный айтрекер Gazepoint GP3. Это устройство исследовательского класса, использующее камеру машинного зрения с частотой 60 Гц и собственное ядро для обработки изображений.

Исходя из обзора источников и анализа экспериментов, можно определить возможности и ограничения использования нейротехнологий при исследовании электронного обучения. У каждого из методов, используемого в нейронауках есть преимущества и недостатки, о которых необходимо помнить при их использовании. Основными возможностями ЭЭГ являются:

- измерение в режиме реального времени. Данные при использовании как проводного, так и беспроводного подключения отображаются в режиме реального времени (с минимальной задержкой), что позволяет определять реакцию на предъявляемый стимул;

- совершенствование технологии и доступность применения. Для исследователей доступны разные виды электродов («сухие», «мокрые», «полумокрые», гелиевые и др.) благодаря чему можно создавать и использовать портативные устройства. Кроме этого, на рынке присутствует большое количество производителей, как зарубежных, так и российских которые разрабатывают устройства для исследовательских целей и сферы развлечения;

- наличие разработанных шкал и уровней. Устройства и программное обеспечение, позволяют представить данные ЭЭГ в виде уровня «концентрации», «медитации», «стресса» и других шкал, которые делают работу с технологией доступнее и проще для понимания. На основе этих шкал можно разрабатывать дизайн различных экспериментов. Однако нужно помнить, что шкалы и уровни – это условные показатели, которые могут отличаться у различных производителей и не носят универсальный характер.

Ограничения ЭЭГ связаны с наличием «артефактов» и техническими характеристиками электродов. Устройствами регистрируется не только активность головного мозга, но и мышечная активность (которая намного сильнее мозговой), в связи с чем необходимо обработка данных с помощью специальных фильтров, программного и аппаратного обеспечения, использования экранированных помещений для избегания помех (артефактов).

Качество получаемого сигнала может зависеть от типа электродов. Например, при использовании «сухих» электродов иногда наблюдается потеря контакт с электродом что может приводить к некорректным данным. Электроды, где в качестве проводника используется гель более стабильные, но необходимо время на их установку и снятие, удаление геля после эксперимента.

ЭЭГ позволяет измерить активность только на поверхности головы и не позволяет получить достоверную информацию о работе более глубоких структур мозга. Поэтому, для исследования глубинных структур обычно используются другие методы, например такие как функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ) или позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ).

Как и у большинства методов исследования мозга, при использовании ЭЭГ существуют сложности анализа и интерпретации полученных данных. Работа с данными ЭЭГ требует знание основ нейронаук и специальных навыков. Кроме этого, понадобятся специализированные программы, которые могут отличаться в зависимости от производителя. Интерпретация данных требует мультидисциплинарных знаний и в областях, связанных с когнитивными науками, для более точного

описания полученных результатов. Использование различных готовых шкал и методик без соответствующих знаний может привести к ложным выводам.

Важным составляющим айтрекинга является возможность изучения принятия решения и отслеживания когнитивной нагрузки. В образовании это связано с тем, как студенты реагируют на изменения в заданиях или информации, какие элементы вызывают большую когнитивную нагрузку.

Ограничениями использования айтрекинга являются следующие факторы:

- точность оборудования. При использовании веб-камеры в GazeRecorder, отмечается высокая (1-5 см) погрешность в определении положения взгляда на экране. При работе с большими объектами это допустимо, но, например невозможно работать с текстом или мелкими объектами;
- стоимость специализированного оборудования и программного обеспечения. Несмотря на то, что есть программы, которые работают с обычной веб-камерой, они являются платным и подходит только для знакомства с технологией айтрекинга и выполнения не продолжительных экспериментов. Стационарные айтрекеры обладают намного большей продолжительностью записи и способами обработки и визуализации данных, но их стоимость дороже в десятки и сотни раз;
- интерпретация результатов. Мы можем определить куда смотрит человек, определить траекторию движения, но не можем с помощью айтрекинга определить почему он смотрит именно туда. Также на практике можно наблюдать ошибки захвата зрачка в очках, при накрашенных ресницах, посторонних светоотражающих предметах в зоне лица (при использовании стационарного айтрекера на основе инфракрасного спектра);
- условия проведения эксперимента. Есть вероятность того, что когда студенты находятся в условиях отличающихся от тех в которых они занимаются (например в лаборатории) это может повлиять на их поведение и как следствие на результаты исследования.

### **Заключение**

Таким образом, рассмотренные технологии имеют потенциал для применения в исследовании электронного обучения и его улучшения. Нейротехнологии могут быть использованы для оценки когнитивного состояния (в том числе и нагрузки) в процессе обучения, что позволяет исследователям понять, какой контент (форма представления) наиболее привлекателен и интересует студентов. Кроме того, эти технологии могут позволить изучить как студенты обрабатывают информацию и какие стратегии они используют для решения задач. Также нейротехнологии позволяют персонализировать обучение, собирая данные о предпочтениях и особенностях каждого студента.

Однако, использование нейротехнологий в образовании также сопряжено с определенными ограничениями. Во-первых, это вызывает этические вопросы, так как сбор и обработка данных о мозговой активности студентов требуют соблюдения принципов конфиденциальности и согласия.

Кроме того, обработка данных, полученных с помощью нейротехнологий, требует специализированных знаний и навыков. Интерпретация результатов также может быть сложной из-за ограниченности нашего знания о работе мозга и его связи с познавательными процессами. Кроме того, использование нейротехнологий требует наличия специализированного оборудования и экспертов, что может быть дорого для образовательных учреждений и стать препятствием для широкого внедрения.

Исходя из этого, использование нейротехнологий в исследовании электронного обучения имеет большой потенциал для повышения эффективности образовательного процесса. Однако, необходимо учитывать этические аспекты, разрабатывать методологию сбора и обработки данных, а также решать вопросы доступности и экономической целесообразности использования нейротехнологий.

### **Список литературы**

1. Абабкова М.Ю., Розова Н.К. Айтрекинг как инструмент оценки восприятия электронных презентаций российскими и зарубежными студентами // Вестник педагогических инноваций. 2022. № 4(68). С. 106 -121.
2. Гнедых Д.С. Тенденции и перспективы использования нейрокомпьютерных интерфейсов в образовании // Сибирский психологический журнал. 2021. № 79. С. 108-129.

3. Зеер Э.Ф. Нейродидактика - инновационный тренд персонализированного образования // Профессиональное образование и рынок труда. 2021. № 4(47). С. 30-38.
4. Куликова О.В. Нейродидактический подход как фактор повышения качества обучения иноязычному профессиональному общению // Вестник Московского государственного лингвистического университета. 2014. № 14 (700). С. 107–114.
5. Никифоров Д.С., Сорочинский М.А. Айтрекинг: основные принципы, опыт и перспективы // Современное образование: традиции и инновации. 2023. № 2. С. 223-226.
6. Николаева Е.И., Сутормина Н.В. Окулография как психологический инструмент: параметры и их психологическое и психофизиологическое обеспечение // Вестник психофизиологии. 2020. № 3. С. 42-56.
7. Соловьева В.А., Вениг С.Б., Белых Т.В. Анализ окуломоторной активности, наблюдаемой при изучении образовательного материала с экрана // Интеграция образования. 2021. Т. 25. № 1(102). С. 91-109.
8. Сорочинский М.А., Корякин Ф.И. Нейропедагогика как направление трансформации педагогической науки на основе методов нейротехнологий // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Педагогика. Психология. Философия. 2022. № 2(26). С. 33-39.
9. Dong W., Ying Q., Yang Y., Tang S., Zhan Z., Liu B., Meng L. Using Eye Tracking to Explore the Impacts of Geography Courses on Map-based Spatial Ability // Sustainability. 2019. № 11(1). P. 76.
10. Meltzoff A., Kuhl P., Movellan J., Sejnowski T. «Foundations for a New Science of Learning» // Science. 2009. № 325. Pp. 284-288.
11. Pi Z., Zhang Y., Liu C., Zhou W., Yang J. "Generative learning supports learning from video lectures: evidence from an EEG study" // Instructional Science, 2022. № 51(3).
12. Sorochinskiy M., Koryakin P., Cherepanov M. "The Effect of a Familiar and Unfamiliar Lecturer on Attention Level and Assimilation of Information in a Video Lecture: Preliminary Experimental Data" // IEEE CSGB, Novosibirsk, Russian Federation, 2023, Pp. 90-93.
13. Sorochinsky M., Koryakin P., Popov M. "A study of students' attention levels while watching educational videos with the use of neurofeedback" // Fourth International Conference CNN, Kaliningrad, Russian Federation, 2022. Pp. 165-167.
14. Shaw R., Patra B., Pradhan A., Mishra S. "Attention Classification and Lecture Video Recommendation Based on Captured EEG Signal in Flipped Learning Pedagogy" // International Journal of Human-Computer Interaction. 2022 №39. Pp. 1-14.
15. Tang S., Liang Y., Li Z. "Mind wandering state detection during video-based learning via EEG" // Frontiers in human neuroscience. 2023. Т. 17. URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1182319>.
16. Wang J., Antonenko P.D., Keil A., Dawson K.M. "Converging Subjective and Psychophysiological Measures of Cognitive Load to Study the Effects of Instructor-Present Video" // Mind Brain and Education. 2020. № 14. Pp. 279-291.
17. Wolf K., Seernani D. Webcam Based Eye Tracking -Whitepaper // ResearchGate. 2023. № 16(6). Pp. 1485-1505.
18. Zhang Y., Yang J. "Exploring Gender Differences in the Instructor Presence Effect in Video Lectures: An Eye-Tracking Study" // Brain Sciences, 2022. № 12(7). P. 946.

## Neuropedagogy: possibilities and limitations of e-learning research using neurotechnologies


**Maxim A. Sorochinsky**

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics and Computer Science

North-Eastern Federal University named after. M.K. Ammosova

Yakutsk, Russia


ma.sorochinskiy@s-vfu.ru

 0000-0000-0000-0000

Received 19.10.2023

Accepted 16.11.2023

Published 15.12.2023

 10.25726/d9183-1673-0694-n

### Annotation

With the development of technologies and new scientific directions, the consolidation of knowledge and methods of various sciences occurs. One of the promising areas in modern pedagogical research is neuropedagogy. Based on this, the purpose of the study is to determine the possibilities and limitations of the use of neurotechnologies in education, namely, for the study of e-learning and its improvement. The paper analyzes the results of a study of educational video content that the author has conducted over the past two years. Research methods such as electroencephalography (EEG) and eye tracking were used. Based on the experience gained, a conclusion is made about the possibilities (assessment of cognitive load, determination of levels of "concentration" and "meditation," tracking fixations on educational materials) and limitations (price and availability of equipment and software, difficulty in interpreting results, ethical issues) of using neurotechnologies for educational content analysis. Eye tracking capabilities allow researchers to obtain data on where a student fixes his gaze while studying educational materials. Using this, you can track the ease of perception of materials and how text, pictures and other visual information are perceived. Based on where the student is looking, you can determine how much time he spends studying certain points and determine the duration of fixations. This allows you to determine which parts of the material are paid more attention to and which ones receive less attention.

### Keywords

neuropedagogy, EEG, eye tracking, educational content, cognitive sciences, education, pedagogy.

The work was carried out with the support of a grant from the President of the Russian Federation for state support of young scientists - candidates of science of the Russian Federation (MK-1901.2022.2).

### References

1. Ababkova M.YU., Rozova N.K. Ajtreaking kak instrument ocenki vospriyatiya elektronnyh prezentacij rossijskimi i zarubezhnymi studentami // Vestnik pedagogicheskikh innovacij. 2022. № 4(68). S. 106-121.
2. Gnedyh D.S. Tendencii i perspektivy ispol'zovaniya nejrokom'juternyh interfejsov v obrazovanii // Sibirskij psihologicheskij zhurnal. 2021. № 79. S. 108-129.
3. Zeer E.F. Nejrodidaktika - innovacionnyj trend personalizirovannogo obrazovaniya // Professional'noe obrazovanie i rynek truda. 2021. № 4(47). S. 30-38.
4. Kulikova O.V. Nejrodidakticheskij podhod kak faktor povysheniya kachestva obucheniya inoyazychnomu professional'nomu obshcheniyu // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo lingvisticheskogo universiteta. 2014. № 14 (700). S. 107-114.

5. Nikiforov D.S., Sorochinskij M.A. Ajtreking: osnovnye principy, opyt i perspektivy // *Sovremennoe obrazovanie: tradicii i innovacii*. 2023. № 2. S. 223-226.
6. Nikolaeva E.I., Sutormina N.V. Okulografiya kak psihologicheskij instrument: parametry i ih psihologicheskoe i psihofiziologicheskoe obespechenie // *Vestnik psihofiziologii*. 2020. № 3. S. 42-56.
7. Solov'eva V.A., Venig S.B., Belyh T.V. Analiz okulomotornoj aktivnosti, nablyudaemoj pri izuchenii obrazovatel'nogo materiala s ekrana // *Integraciya obrazovaniya*. 2021. T. 25. № 1(102). S. 91-109.
8. Sorochinskij M.A., Koryakin F.I. Nejropedagogika kak napravlenie transformacii pedagogicheskoy nauki na osnove metodov nejrotekhnologij // *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. Seriya: Pedagogika. Psihologiya. Filosofiya*. 2022. № 2(26). S. 33-39.
9. Dong W., Ying Q., Yang Y., Tang S., Zhan Z., Liu B., Meng L. Using Eye Tracking to Explore the Impacts of Geography Courses on Map-based Spatial Ability // *Sustainability*. 2019. № 11(1). P. 76.
10. Meltzoff A., Kuhl P., Movellan J., Sejnowski T. «Foundations for a New Science of Learning» // *Science*. 2009. № 325. Pp. 284-288.
11. Pi Z., Zhang Y., Liu C., Zhou W., Yang J. "Generative learning supports learning from video lectures: evidence from an EEG study" // *Instructional Science*, 2022. № 51(3).
12. Sorochinskiy M., Koryakin P., Cherepanov M. "The Effect of a Familiar and Unfamiliar Lecturer on Attention Level and Assimilation of Information in a Video Lecture: Preliminary Experimental Data" // *IEEE CSGB, Novosibirsk, Russian Federation*, 2023, Pp. 90-93.
13. Sorochinsky M., Koryakin P., Popov M. "A study of students' attention levels while watching educational videos with the use of neurofeedback" // *Fourth International Conference CNN, Kaliningrad, Russian Federation*, 2022. Pp. 165-167.
14. Shaw R., Patra B., Pradhan A., Mishra S. "Attention Classification and Lecture Video Recommendation Based on Captured EEG Signal in Flipped Learning Pedagogy" // *International Journal of Human-Computer Interaction*. 2022 №39. Pp. 1-14.
15. Tang S., Liang Y., Li Z. "Mind wandering state detection during video-based learning via EEG" // *Frontiers in human neuroscience*. 2023. T. 17. URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1182319>.
16. Wang J., Antonenko P.D., Keil A., Dawson K.M. "Converging Subjective and Psychophysiological Measures of Cognitive Load to Study the Effects of Instructor-Present Video" // *Mind Brain and Education*. 2020. № 14. Pp. 279-291.
17. Wolf K., Seernani D. Webcam Based Eye Tracking -Whitepaper // *ResearchGate*. 2023. № 16(6). Pp. 1485-1505.
18. Zhang Y., Yang J. "Exploring Gender Differences in the Instructor Presence Effect in Video Lectures: An Eye-Tracking Study" // *Brain Sciences*, 2022. № 12(7). P. 946.