

ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ: ПЕРСПЕКТИВЫ И ОПАСНОСТИ

А. С. Смирнов^{1,2}, К. А. Фадеев^{1,2}, Т. А. Аликовская^{1,2}, А. В. Тумялис^{1,2}, К. С. Голохваст^{1,2}

¹ Дальневосточный федеральный университет

690990, Россия, Приморский край, г. Владивосток, ул. Суханова, д. 8

² Дальневосточный региональный научный центр Российской академии образования

690922, Россия, Приморский край, г. Владивосток, пос. Аякс, д. 10

Аннотация

Развитие и внедрение новых информационных и коммуникационных технологий приводит к появлению новых форм взаимодействия между компьютером и человеком. Одна из таких форм — виртуальная реальность. В данной статье рассматривается иммерсивная виртуальная реальность и приводится анализ 71 российской и зарубежной работы, посвященной новейшим исследованиям в области изучения феномена виртуальной реальности с точки зрения педагогической и психологической наук. Особое внимание в статье уделено влиянию виртуальной реальности на активность мозга, поведение и обучение. Изучение этих вопросов необходимо для анализа возможности использования виртуальной реальности в образовании. Рассматривается ощущение присутствия в виртуальной среде в норме и при патологии, приводится описание характеристик виртуальных сред, используемых в образовании. Показано, что применение виртуальной реальности демонстрирует прекрасные возможности в образовании, но может иметь и некоторые отрицательные психофизиологические эффекты. В обзоре обсуждаются данные отечественных и зарубежных исследователей о возможных психологических рисках длительного погружения детей и подростков в виртуальную реальность и предлагается применение виртуальной реальности лишь на основании предварительного тестирования или анкетирования. Делается заключение, что виртуальная реальность, как и любой другой новый феномен, требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: виртуальная реальность, образование, педагогика, психология, перспективы, отрицательное действие.

DOI: 10.32517/0234-0453-2020-35-6-4-16

Для цитирования:

Смирнов А. С., Фадеев К. А., Аликовская Т. А., Тумялис А. В., Голохваст К. С. Технологии виртуальной реальности в образовательном процессе: перспективы и опасности // Информатика и образование. 2020. № 6. С. 4–16.

Статья поступила в редакцию: 3 апреля 2020 года.

Статья принята к печати: 23 июня 2020 года.

Сведения об авторах

Смирнов Алексей Сергеевич, гл. специалист Центра НТИ по нейротехнологиям, технологиям виртуальной и дополненной реальности, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия; научный сотрудник лаборатории педагогической психофизиологии, Дальневосточный региональный научный центр Российской академии образования, г. Владивосток, Россия; smirnov.aserg@dvfu.ru; ORCID: 0000-0002-4842-5599

Фадеев Кирилл Александрович, лаборант-исследователь Центра НТИ по нейротехнологиям, технологиям виртуальной и дополненной реальности, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия; научный сотрудник лаборатории педагогической психофизиологии, Дальневосточный региональный научный центр Российской академии образования, г. Владивосток, Россия; fadееvk.fefu@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2480-5527

Аликовская Татьяна Александровна, лаборант-исследователь Центра НТИ по нейротехнологиям, технологиям виртуальной и дополненной реальности, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия; научный сотрудник лаборатории педагогической психофизиологии, Дальневосточный региональный научный центр Российской академии образования, г. Владивосток, Россия; alikovskaia.ta@dvfu.ru; ORCID: 0000-0001-6272-2365

Тумялис Алексей Вячеславович, канд. биол. наук, ст. научный сотрудник Центра НТИ по нейротехнологиям, технологиям виртуальной и дополненной реальности, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия; ст. научный сотрудник лаборатории педагогической психофизиологии, Дальневосточный региональный научный центр Российской академии образования, г. Владивосток, Россия; tumialis.av@dvfu.ru; ORCID: 0000-0002-8868-6312

Голохваст Кирилл Сергеевич, член-корреспондент РАО, доктор биол. наук, профессор РАН, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности в техносфере, Инженерная школа, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия; зав. лабораторией педагогической психофизиологии, Дальневосточный региональный научный центр Российской академии образования, г. Владивосток, Россия; golokhvast.ks@mail.ru; ORCID: 0000-0002-4873-2281

1. Введение

Сегодня виртуальная реальность входит в повседневную жизнь человека на разных уровнях: от бытовых приложений (игр и развлечений) и применения в среднем и высшем образовании до космических программ и управления опасными производствами. Сам термин «виртуальная реальность» означает некий искусственный мир, созданный с помощью технических средств и существующий только в циф-

ровом виде. Виртуальный мир может быть копией существующего мира или быть совершенно фантастическим, он передается человеку через ощущения: в первую очередь, зрение, слух, осязание и другие.

Виртуальные миры могут быть либо воссозданными копиями реальных мест, либо полностью воображаемыми, нереалистичными (например, когда пользователь находится в недоступном для него месте на поверхности другой планеты или внутри живой клетки). Учащийся может манипулировать

виртуальными объектами и взаимодействовать с ними, перемещаться внутри виртуального пространства, вербально и невербально взаимодействовать с другими учащимися, творить и играть [1, 2]. В подобных окружениях учащиеся имеют высокую степень субъектности (субъектность — способность человека действовать как источник действия) и автономности [3].

Под **технологией виртуальной реальности** понимается целый ряд устройств, которые могут в значительной степени отличаться друг от друга. В литературе обычно отдельно рассматриваются:

- **десктопная виртуальная реальность (ДВР)** — среда, в которой мир отражается на экране компьютера, а обучающийся взаимодействует с ним при помощи мышки, сенсорного экрана, ручных контроллеров и т. д., сидя напротив экрана;
- виртуальная реальность с высоким погружением, или **иммерсивная виртуальная реальность (ИВР)**, — среда, представляемая через головную гарнитуру и контролируемая с помощью точного трекинга головы и контроллеров.

В данной статье обсуждается иммерсивная виртуальная среда, погружение в которую обеспечивается при помощи переносных шлем-дисплеев.

2. Общие эффекты виртуальной реальности

То, как человек реагирует на различные виртуальные среды и взаимодействует с ними, зависит от ряда технологических особенностей среды и психологических особенностей индивида, наиболее значимые из которых — погружение и ощущение присутствия.

Погружение — это свойство системы виртуальной реальности заменять или дополнять восприятие человека [4]. Степень погружения определяется технологическими характеристиками VR-среды, такими как разрешение экрана, частота кадров, угол поля зрения, стереоскопия, стереозвук, точность и скорость отслеживания и т. д. Например, более фотореалистичная графика в среде VR положительно влияет на степень погружения [5]. Важна и **величина сенсорной стимуляции**: эффект погружения сильнее в случае одновременной стимуляции большего количества сенсорных систем, адекватности стимуляции различной модальности и ее интенсивности [6].

Ощущение присутствия определяется как субъективный опыт нахождения в одном месте, даже когда субъект физически находится в другом. Существует связь между погружением и ощущением присутствия. Так, в работе [7] отмечается, что погружение оказывает средневывраженное влияние на ощущение присутствия. Дополнительно авторы статьи [7] показали, что более точное и быстрое отслеживание движения пользователя, использование стереоскопических визуальных эффектов и более широкое поле зрения экранов значительно более эффективны, чем улучшения большинства других свойств иммерсивной системы, включая качество визуального и аудиального контента.

Возможность свободно перемещаться в виртуальном окружении и взаимодействовать с виртуальными объектами, если их физические характеристики смоделированы реалистично, значительно влияет на увеличение чувства присутствия [8, 9]. Более сильное ощущение присутствия достигается, когда пользователь использует виртуальный аватар, который реалистично повторяет действия человека с помощью **технологии захвата движения** [10]. Индивидуальные свойства, такие как способность погружаться в различные контексты, способность игнорировать отвлекающие факторы, чувство «пленения», интенсивность эмоций, спровоцированных содержанием, и частота погружений в контент [11], также влияют на силу чувства присутствия.

Интерактивность — это важный аспект виртуальной реальности, поскольку она оказывает большое влияние на ощущение присутствия. В различных источниках предлагается множество определений интерактивного взаимодействия, но в контексте мультимедийного обучения интерактивность обычно определяется как двусторонняя активность обучающегося и мультимедийной обучающей системы, в которой действия обучающегося зависят от действий системы и наоборот [12].

3. Влияние виртуальной реальности на активность мозга, поведение и обучение

Оценка образовательных приложений виртуальной реальности зачастую сфокусирована на удобстве использования приложений VR, а не на педагогической теории или результатах обучения, и иммерсивная VR-технология в основном была частью экспериментальной работы, а не применялась регулярно в реальном обучении. Также очень редки исследования применения VR в обучении детей — основная часть исследований проводится на студентах медицинских и технических специальностей. Более того, при разработке VR-приложений в большинстве случаев не учитываются теории обучения в отношении результатов обучения [13, 14].

Во многих исследованиях обнаружено положительное влияние на успеваемость использования виртуальной реальности в образовании, при этом игровые образовательные среды были более эффективными, чем виртуальные миры или симуляции (мета-анализ [15]). В современном мета-анализе [16] фокус был сделан на анализе эффективности использования виртуальной реальности в высшем образовании и в тренировке навыков. Исследователи обнаружили положительное влияние иммерсивной виртуальной реальности по сравнению с 2D-дисплеями.

Особенности VR все чаще используются в учебном процессе, но с противоречивыми результатами. Во многих исследованиях применения VR в образовании наблюдался положительный эффект [17–21], это также подтверждается обширным мета-анализом [15], где все работы были классифицированы на использующие:

- традиционные методы подачи учебного материала (лекция, учебники, тесты, макеты или лабораторные занятия);

- мультимедийную подачу материала (видео, графические или компьютерные учебные пособия);
- комбинацию методов (виртуальная реальность на настольном компьютере совместно с традиционными или мультимедийными методами) и не использующие какое-либо дополнительное воздействие любыми формами подачи учебного материала (контрольная группа).

Результаты мета-анализа указывают на то, что внедрение ДВР в школьную программу и высшее образование в виде виртуальных миров, игр и симуляций повышает оценки учащихся. Кроме того, исследования, отдельно рассматривающие применение компьютерных симуляций в образовательном процессе, показали, что при использовании ДВР-симуляций уровень знаний учащихся растет выше, чем уровень навыков. Возможная причина в том, что в ДВР учащемуся легче вспоминать фактическую информацию, чем развивать навыки, к тому же отработка навыков — это длительный процесс, требующий регулярного повторения.

Недавно было исследовано влияние различных типов подачи информации (2D-видео или иммерсивной VR с помощью гарнитуры Samsung Gear VR) на эффективность обучения с предварительной подготовкой [22]. Основной эмпирический вывод этого исследования состоял в том, что использование предварительной подготовки в ИВР значительно увеличивало уровень знаний, в то время как для 2D-видео такого эффекта не наблюдалось. Кроме того, результаты показывают, что предварительное обучение значительно повышает самоэффективность студентов при обучении в ИВР, однако этого эффекта нет при обучении через 2D-видео.

Возможность использовать объекты в виртуальной реальности и манипулировать ими значительно увеличивает эффективность обучения практическим умениям при исследовании анатомических структур [9]. Эти данные подтверждает исследование [21], которое показало более эффективное изучение анатомии сердца с помощью VR-среды, чем при чтении текстов или взаимодействии с 3D-моделью на экране компьютера.

Контролирование объектов в виртуальной реальности повышает точность использования хирургических инструментов у студентов-медиков [18, 23], увеличивает пространственную ориентацию [19], а также точность и скорость применения технических навыков [17]. Е. А.-L. Lee и К. W. Wong выявили значительно лучшие показатели знаний при изучении биологии в VR среди детей относительно контрольной группы, изучавшей биологию на традиционном классном занятии [24].

Однако в другом исследовании сравнения методов презентации учебного материала ИВР-группа показала значительно худшие результаты в последующем тестировании, чем PowerPoint-группа, несмотря на то что студенты проявляли больший интерес, мотивацию и увлеченность [25]. Авторы дискутируют, что возможная причина — нарушение в ИВР-условии принципа сегментирования учебного материала на отдельные части. Вместо этого ИВР-сессия была не-

прерывной по времени. Другой важный принцип — когерентности, предусматривающий устранение посторонних сущностей и функций, по-видимому, играет самую большую роль в препятствовании обучению студентов в VR. Учащийся был окружен быстро движущимися объектами со всех сторон, но эти объекты не являлись необходимыми для усвоения конкретной учебной темы, тем самым нарушался принцип когерентности. Внедрение в процесс обучения с помощью ИВР-технологии общеобразовательных принципов согласованности и сегментации, по мнению авторов работы [25], по аналогии с другими образовательными методами, может улучшить усвоение учебного материала в ИВР. В другом исследовании, описанном в [26], студенты обучались в виртуальной химической лаборатории в различных условиях подачи материала, используя либо экран монитора ПК, либо ИВР, читая текст или слушая записанную речь рассказчика. Субъекты сообщали большую степень присутствия в условиях ИВР, но они при этом меньше обучались и, по данным электроэнцефалографии (ЭЭГ), показали значительно большую когнитивную нагрузку. Авторы объяснили отрицательные результаты тем, что, вместо того чтобы читать и слушать один и тот же текст, некоторые учащиеся (особенно в условиях ИВР) просто слушали рассказчика, не читая дополненный текст. Кроме того, информация в виде дополнительного текста конкурирует с графической информацией за ограниченный визуальный канал восприятия, и учащийся тратит лишнее время, пытаясь согласовать эти потоки информации.

Обучение английскому языку с помощью VR увеличило количество знаний в области фонологии, морфологии, грамматики и синтаксиса, а обучение в виртуальном мире способствовало развитию более сложного и более высокого уровня мышления благодаря реалистичности и погружению, которые сделали обучение более мотивирующим и интересным [27].

4. Соматические эффекты в норме

Несмотря на наличие положительных когнитивных и поведенческих эффектов использования виртуальной реальности в образовании, также обнаружены и негативные последствия использования некоторых сред виртуальной реальности. Такие среды могут нанести вред как психическому, так и физическому здоровью испытуемых, поэтому необходимо тщательно выбирать соответствующий контент VR. Различные свойства виртуальных сред могут оказывать разное негативное влияние — содержимое виртуальной реальности вызывает или облегчает воспроизведение негативного или травмирующего опыта субъекта; конфликты между вестибулярной, проприоцептивной и визуальной информацией приводят к визуально вызванному укачиванию (далее — укачивание). Последнее является формой укачивания, вызванной визуальными сигналами и в случае VR называется *киберболезнью*.

Движение субъекта в виртуальной среде может вызывать побочные эффекты укачивания, такие как

сонливость, головокружение, бледность, холодный пот, глазодвигательные нарушения, тошнота и (редко) рвота [28].

В виртуальной симуляции поездки по горкам на тележке («американские горки») оценки укачивания имели положительную корреляцию с максимальной оценкой тошноты во время поездки и отрицательную корреляцию с продолжительностью поездки [5, 29].

Тем не менее иллюзорное ощущение движения собственного тела (векция) и укачивание не идентичны и имеют сложную косвенную связь, потому что векция может проявляться без укачивания [30] и наоборот [31]. Например, было установлено, что плотность зрительного потока, скорость и вращение стимула могут изменять иллюзорные ощущения движения себя в пространстве, и эти ощущения появляются независимо от симптомов укачивания [30]. В. Keshavarz с соавторами предполагают, что векция является необходимой предпосылкой, но не достаточным условием для индукции укачивания. Более того, в определенных условиях эффект чувства присутствия в ВР имеет положительную корреляцию с векцией [30], но отрицательно связан с укачиванием [32].

Три гипотезы были выдвинуты относительно природы укачивания [28]:

- наиболее распространенной является теория сенсорного конфликта между зрительной, вестибулярной и соматосенсорной информацией;
- вторая гипотеза постулирует, что укачивание возникает в результате индивидуальной нестабильности в управлении осанкой;
- третья гипотеза — гипотеза движений глаз — утверждает, что движущийся зрительный паттерн вызывает оптокинетический нистагм, который связан с активацией блуждающего нерва (увеличение активности парасимпатической части вегетативной нервной системы), приводящей к укачиванию.

В дополнение к поведенческим реакциям и субъективным оценкам собственного психологического состояния регистрация физиологических реакций обучающихся также показала значительные изменения при использовании ВР. Свободное движение в виртуальной среде увеличивает количество морганий, амплитуду волн электродермальной активности, силу сокращения желудка, частоту сердечных сокращений, частоту дыхания, связанную с фазой дыхания аритмию сердцебиений, температуру пальцев [33, 34].

Подобные эффекты симпатической активации были обнаружены в виртуальных «американских горках» [35, 36] и в смоделированных в ВР видах с большой высоты [37, 38].

По этическим соображениям и соображениям сложности исследований с участием детей на данный момент количество подобных исследований неудовлетворительно мало. Соответственно, еще меньше исследований посвящено влиянию технологии ВР на детей и ее влиянию на образовательный процесс у детей. И тем более парадоксально, что исследований, посвященных лечению и реабилитации детей с использованием технологии ВР, очевидно, больше.

Однако исследование [39] привело к выводу о незначительном влиянии ВР-игры на постуральную стабильность и вестибулярный рефлекс здоровых детей 4–10 лет, а дискомфорт и вторжение воспоминаний у них меньше, чем у взрослых. Другое исследование, изучавшее симптомы киберболезни у детей 7–16 лет при использовании ВР, не выявило значительного ухудшения состояния обучающихся [40].

5. Соматические эффекты при патологиях

Воздействие подвижного поля зрения у пациентов с нарушением вестибулярного аппарата (односторонней лабиринтопатией) приводило к тошноте раньше и чаще, чем в группе здоровых людей, и меньше, чем в группе с двусторонней лабиринтопатией [41], что может сделать эту группу уязвимой для киберболезни. Кроме того, в эту группу, вероятно, входят люди с нарушением устойчивости в положении стоя — постуральной нестабильностью, поэтому исследование здоровых людей с индивидуальными различиями в спонтанной постуральной нестабильности показало большую уязвимость к киберболезни [42]. Тем не менее нет исследований по побочным эффектам ВР для пользователей с вестибулопатией, так как нет исследований по безопасности ВР для людей с определенными заболеваниями и, соответственно, нет никаких рекомендаций. В обзорах [28, 32] указывается, что в исследованиях с использованием ВР у испытуемых возникает слабая степень укачивания или субъекты с тяжелыми симптомами укачивания исключаются из анализа. Это отмечается как значительный недостаток исследований, и, следовательно, участие конкретной группы субъектов, подверженных негативным эффектам ВР, с острыми и выраженными эмоциональными реакциями может способствовать более точной диагностике симптомов.

По-прежнему неизвестно, как занятия в ВР-гарнитуре влияют на стереоскопию и бинокулярное зрение здоровых детей в долгосрочной перспективе, однако при краткосрочном воздействии изменений данных функций не выявлено [43].

6. Активность мозга и ощущение присутствия в виртуальной среде в норме

Исследования чувства присутствия в виртуальной среде с помощью электроэнцефалографии показали различные результаты. В самом раннем исследовании [33] в задаче навигации в виртуальной среде спектральная мощность дельта-ритма (2–4 Гц) увеличивалась, а спектральная мощность бета-ритма (15–30 Гц) уменьшалась.

Кроме того, контролируемая навигация в ВР по сравнению с неконтролируемой навигацией вызывала увеличение чувства присутствия и снижение мощности альфа-ритмов (8–13 Гц) и тета-ритмов (4–8 Гц) в правой островковой области коры и альфа-ритма в правой теменной области [44].

Большее снижение мощности альфа-ритма в теменной коре сопровождалось снижением когерент-

ности с лобной областью, что было интерпретировано авторами как уменьшение тормозного контроля лобной коры при более высоком чувстве присутствия в виртуальной среде [45].

«Поездка на американских горках» вызывала снижение мощности альфа-ритма в средней и задней поясной коре и в верхней теменной коре у подростков [35]. Исследование с использованием вызванных потенциалов ЭЭГ показало, что у субъектов с более высокими оценками чувства присутствия в виртуальной среде была обнаружена более низкая амплитуда поздних компонентов, вызванных потенциалов для редкого целевого стимула, что, по мнению авторов, было связано с вниманием испытуемых к содержанию сценария ВР [45].

Исследования с использованием томографии показали, что степень присутствия в виртуальной среде отрицательно коррелирует с активностью боковой лобной коры. Кроме того, уменьшение эффекта присутствия связано с уменьшением активации таламуса и областей коры, связанных со зрительным эгоцентрическим восприятием, а также активацией медиальных областей лобной коры, связанных с рефлексией [46]. Другими словами, уменьшение чувства присутствия связано с отстранением от восприятия окружающего мира и погружением в поток рефлексивных мыслей, из-за чего человек перестает ощущать себя в виртуальном окружении. Схожие результаты обнаружены в исследовании свободного перемещения в ВР-окружении [47]. В данном исследовании было обнаружено, что при свободном перемещении в виртуальной среде увеличивается активация задней теменной и островковой долей коры и снижается активация лобных областей коры. Авторы предполагают, что привлечение внимания к виртуальному окружению приводит к активации областей коры мозга, связанных с ориентацией в пространстве, и снижению активности лобных областей коры мозга, связанных с контролем зрительной информации и приводящих к увеличению чувства присутствия в виртуальном окружении.

Наконец, в исследовании [29] также было обнаружено увеличение активности в теменно-височной области мозга (измерения методом NIRS) при большем погружении в ВР во время прохождения заездов «американских горок».

Таким образом, увеличение активности теменной коры и островковых областей коры связано с навигацией в виртуальном окружении, а снижение активности боковой лобной коры связано с увеличением чувства присутствия в виртуальном окружении. Исследований в данном направлении мало, и поэтому выводы являются скорее гипотетическими, чем утвердительными.

7. Эффекты использования виртуальной реальности при различных патологиях

Предположение о том, что люди с обсессивно-компульсивным расстройством, посттравматическим стрессовым расстройством и другими психотическими

расстройствами более уязвимы для киберболезни, было выдвинуто ранее, но при тестировании были получены противоречивые результаты. Некоторые исследователи обнаружили положительный эффект от использования ВР для диагностики и лечения психотических расстройств [48], в то время как другие этого не обнаружили [49]. При этом дозированное использование ВР пациентами с психотической паранойей может быть безопасно [50], однако данное предположение выдвинуто для устаревшей технологии ВР и только для ВР-контента одного формата.

В связи с негативным влиянием на эмоциональное и физическое состояние испытуемых необходимо соблюдать строгие этические требования, привлечение испытуемых к участию в таком исследовании также затруднено. Исследования до-, пери- и посттравматических процессов в парадигме ВР показали, что содержание ВР вызывает травматический стресс [51], а также продемонстрировали, что ВР-контент может вызывать симптомы легкого стресса, такие как травматические мысли и убеждения, вторжение и поведение избегания [52, 53].

У некоторых людей (примерно у одного на 4000) при просмотре телевизора, видеоиграх или нахождении в виртуальной реальности могут возникать сильные головные боли, судороги, подергивание глаз или помутнение зрения, вызванные световыми вспышками или паттернами. Такие приступы чаще встречаются у детей и молодых людей в возрасте до 20 лет. При появлении любого из этих симптомов нужно немедленно прекратить использовать гарнитуры и обратиться к врачу. Любой пользователь, имевший эпилептические приступы ранее, терявший сознание или имевший другие симптомы, связанные с эпилептическим состоянием, должен проконсультироваться у врача перед использованием гарнитуры ВР или гарнитуры дополненной реальности (ДР).

8. Применение виртуальной реальности в образовательных целях

Благодаря описанным выше эффектам иммерсии и чувства присутствия ВР как образовательный метод в основном используется при отработке навыков. Работа с объектами в виртуальной реальности значительно повышает эффективность усвоения навыков [9], особенно эффективность работы студентов-медиков с хирургическими инструментами [18] и выполнение технических навыков [17].

В кластерном анализе литературы, описывающем основные тенденции в ВР-исследованиях [54], эта область была наиболее изученной, тогда как исследования о получении и обработке новых знаний были менее распространены. Но с 2005 года ВР также начинает изучаться в контексте школьного и высшего образования [20, 55–57].

Появляясь в школах и университетах в качестве трехмерной среды на экране компьютера, интерактивных досок, игр, симуляций и виртуальных миров, ВР повышает эффективность учебного процесса и одновременно соответствует современным тенденциям

развития общества, адаптируя учащихся к новым условиям высокотехнологичной жизни. В то же время использование новых технологий позволяет расширить спектр методов обучения, поскольку виртуальная реальность максимально приближает визуализацию объектов к объектам реального мира. Более того, VR имитирует среду, которую человек не может посетить в реальной жизни из-за различных ограничений. Процесс обучения ведется более эффективно и интересно — новизна технологии виртуальной реальности и реализм воссозданных виртуальных миров вызывают положительные эмоции и интерес пользователя во время учебной сессии, что можно наблюдать при успешном завершении задачи обучения с использованием виртуальной реальности [15]. Особенно это проявляется при использовании игровых сценариев [58].

В ранних исследованиях изучалось использование виртуальной реальности в образовании с фокусом в основном на виртуальных мирах, создаваемых настольным персональным компьютером. Основной вывод заключался в том, что виртуальные среды позволяют студентам усваивать абстрактные понятия, например микрокосм бактерий, особым образом [59]. Позднее идея была развита в работе [60], в которой описаны следующие особенности образовательных трехмерных сред: расширение знаний учащихся о пространственных понятиях; способность выполнять задачи, которые было бы непрактично или невозможно выполнить в реальном мире; предоставление студентам возможности взаимодействовать в многопользовательской виртуальной среде. Использование VR для научной, технологической и инженерной подготовки позволяет студентам экспериментировать с различными системами, которые не могут быть изменены в лабораторных или промышленных условиях, например, внешняя оболочка изделия или механизма может быть удалена, чтобы показать его внутреннюю структуру, а любые изменения в виртуальной среде могут быть легко отменены [61].

Контент виртуальной реальности, представляемый в образовательных целях, имеет определенные технические решения, набор которых составляет конструкт современного образовательного VR-приложения. Решения были поделены на 15 категорий [14]. Описание характеристик виртуальных сред, используемых в образовании, приведено в таблице.

Принципы работы образовательных VR-приложений описываются в рамках существующих психолого-педагогических теорий/концепций обучения.

В рамках **бихевиоральной теории оперантного научения Б. Ф. Скиннера** [62], постулирующей обоснование поведения парадигмой «стимул — реакция», предполагается, что ученики моделируют свое поведение, получая подкрепление или наказание за правильные или неправильные ответы. VR-приложения позволяют моделировать поведение подкреплением за успешное и быстрое выполнение задания виртуальными баллами, игровыми достижениями, местом в таблице рейтингов, доступом

к эксклюзивному контенту либо наказанием неприятным звуком, лишением баллов или воздействием на игрового аватара (снижение «здоровья» или параметров). Таким образом ученики адаптируются к виртуальной среде, мотивируются на правильное выполнение задания.

Теория экспериментального научения А. Колба гласит, что обучение как цикл приобретения нового опыта происходит посредством прохождения четырех стадий, составляющих логическую последовательность:

- стадия конкретного активного опыта, на которой субъект получает эмпирический опыт взаимодействия с объектом;
- стадия рефлексивного наблюдения, на которой учащемуся необходимо отступить от задачи и пересмотреть сделанное и испытанное;
- стадия концептуализации, которая включает осмысление произошедшего и создание новой концепции, идеи, которой можно будет руководствоваться в дальнейшем при аналогичном опыте;
- последняя стадия включает планирование применения полученного опыта [63].

Данный анализ приводит к изменению умений и суждений учащегося. Так, в VR-приложении может быть реализована манипуляция с определенным объектом, например с электрической цепью.

Концепция оперативного обучения специфична для технологии VR, так как предполагает, что технология VR обеспечивает удобную и отказоустойчивую систему и немедленную обратную связь для манипуляций при оперативном обучении [64]. Благодаря VR учащиеся могут изучать свойства и формы объектов виртуального окружения, манипулируя ими, например, проводя сборку персонального компьютера из готовых комплектующих деталей.

Контекстное обучение предполагает полное погружение учащегося в аутентичную, содержательную виртуальную среду обучения. Так, в исследовании [27] показано, что лингвистический контекст, воссозданный в виртуальном окружении, помогал учащимся пополнять словарный запас иностранного языка.

Теория мультимедийного обучения [65] основывается на трех основных предположениях:

- есть два отдельных канала (слуховой и визуальный) для обработки информации;
- каждый канал имеет ограниченную пропускную способность;
- обучение — это активный процесс фильтрации, выбора, структуризации и интеграции информации на основе предыдущих знаний.

Поэтому обучение включает в себя когнитивные процессы, которые создают связи между воспринимаемой информацией различной модальности. Согласно этой теории, VR-приложение должно подавать комплементарную слуховую и визуальную информацию учащемуся.

Была также предложена **интегрированная модель мультимедийной интерактивности** [12], опи-

Описание характеристик виртуальной среды, используемых в образовании

№ п/п	Свойство виртуальной среды	Описание
1	Естественность обстановки	Важный фактор погружения — фотореалистичность графики, а также моделирование конкретной ситуации реального мира. Например, в рамках курса химии старшеклассники благодаря VR могут получить опыт работы в химической лаборатории, которой нет в общеобразовательной школе.
2	Пассивное наблюдение	Решение предполагает перемещение участника по заранее спланированному маршруту с возможностью осматриваться. Такое решение исключает взаимодействие с объектами виртуальной среды и другими пользователями. Чаще именно пассивное наблюдение используется для показа наглядного материала по курсам искусства и истории.
3	Самостоятельное перемещение	Решение предполагает самостоятельное перемещение по виртуальному миру.
4	Взаимодействие с объектами	Решение предполагает воздействие участника на объекты в виртуальном мире, изменение их цвета и формы и физическое перемещение, а также получение дополнительной устной или письменной информации об объекте.
5	Взаимодействие объектов между собой	Решение предполагает сбор нескольких предложенных объектов в единую систему, механизм. Данное решение чаще реализуется для овладения практическими навыками сборки сложных механизмов, например, двигателя или моста.
6	Взаимодействие с другими пользователями	Решение предполагает социальный контакт с другими учениками или учителем. Контакт происходит посредством аватара, текстового сообщения или голосового чата. Также данное решение дает возможность виртуального посещения учебной аудитории и ее смены.
7	Ролевая система	Решение предполагает выбор виртуальной роли, наделенной уникальными функциями и обязанностями. Например, это могут быть роли учителя и ученика, при этом остальные роли могут занимать как реальные участники, так и неигровые персонажи.
8	Совместное использование приложения	Решение предполагает использование несколькими участниками одного приложения для обмена информацией. Например, учитель может выборочно делиться учебным материалом с учащимися в течение занятия.
9	Пользовательский контент	Учащиеся получают возможность самостоятельно создавать новый контент. Так, созданная участником модель нового механизма может быть получена и использована другим учеником.
10	Инструктаж и дебрифинг	Учащиеся могут получить доступ к методическому пособию или инструкции о том, как пользоваться VR-приложением и как выполнять учебные задачи. Инструкции могут быть представлены в форме текста, аудио, видео, визуального агента (стрелки) или показа сценария выполнения при пассивном наблюдении учеником.
11	Обратная связь	Учащиеся получают обратную связь в текстовом, речевом или звуковом, видеоформатах в течение занятия. Данное решение дает участникам представление об этапе занятия, правильности выполнения задачи и возможность исправить ошибки. Обратная связь может быть реализована путем реакции объекта на действия ученика: например, моделирование химической реакции при проведении лабораторной работы по химии.
12	Дебрифинг	Учащиеся получают развернутую информацию о ходе занятия и результатах, а также статистику в конце занятия.
13	Тест знаний	Учащиеся могут проверить свои знания и умения, выполнив тест, задание или пройдя испытание.
14	Вознаграждение или наказание	Учащиеся могут быть вознаграждены/наказаны за успешное и быстрое выполнение задания виртуальными баллами, игровыми достижениями, местом в таблице рейтингов, доступом к эксклюзивному контенту.
15	Нелинейность сценария	Ученики делают обдуманый выбор каждого шага в ходе прохождения сценария. Каждый выбор влияет на ход и концовку сценария, погружая ученика в происходящее.

сывающая обучающую систему как состоящую из шести компонентов:

- 1) первый компонент — это сам обучающийся, обладающий набором персональных качеств, таких как уровень начальных знаний и способность к саморегуляции, и аффективных черт характера, таких как уровень ситуативной тревожности;
- 2) второй компонент — это среда обучения, определяемая, с одной стороны, набором базовых инструкций, а с другой — предоставляемыми учащемуся возможностями;
- 3) третий компонент описывает физическое взаимодействие пользователя с системой;
- 4) четвертый — когнитивные и метакогнитивные операции и процессы, с помощью которых учащийся выбирает, обрабатывает и интегрирует новую информацию в уже имеющуюся связанную структуру знаний;
- 5) эмоциональное состояние учащегося, определяющее мотивацию к обучению в конкретной ситуации, является пятым компонентом системы обучения;
- 6) наконец, все вышеперечисленные части системы обучения формируют ее шестой, результирующий компонент — ментальную модель объекта обучения, описывающую связь уже имеющихся структур знаний субъекта и новых знаний, полученных в процессе обучения.

Обучение через игру в контексте VR-образования предполагает использование образовательным VR-предложением игрового дизайна и механик, таких как баллы, внутриигровая валюта, уровни игрового персонажа, награды и рейтинги и т. д. Так, VR-приложения в рамках курса истории могут содержать путешествия по виртуальному миру с игровыми элементами, мотивирующими ученика узнавать факты, исследовать игровые локации, погружаться в контекст игры.

9. Заключение

Учитывая совсем недавнее появление устройств высокоиммерсивной виртуальной реальности на потребительском рынке (VR-шлемы HTC Vive и Oculus Rift появились в продаже в конце 2016 года), неудивительно, что исследований влияния этой технологии на детей и подростков или ее использования в образовательных целях в реальных школьных классах так мало.

Между тем возникают серьезные этические проблемы длительного использования устройств VR детьми и подростками, включая, помимо прочего, вопросы контента VR. Статья, предлагающая кодекс этического поведения в VR [66], предупреждает о возможных психологических рисках длительного погружения детей и подростков в виртуальную реальность. Аватар в VR позволяет учащемуся воспринимать самого себя скорее как источник активности, нежели как стороннего наблюдателя во время взаимодействия с объектами в виртуальной среде [67].

Также мы не можем не сослаться на недавно опубликованные результаты нашего исследования [68], в котором мы обнаружили серьезную опасность при применении VR на людях без предварительного тестирования или анкетирования. Такие примеры отрицательного влияния VR не единичны [53, 69].

Другие авторы [70] предлагают два взаимодополняющих подхода для использования VR в школах. Первый из них, концептуальный, должен побуждать будущих исследователей делать упор на этические вопросы, связанные с использованием технологий VR на разных стадиях развития учащегося. Второй подход — чисто практический и описывает особую важность предотвращения вреда и обеспечения безопасности и уважения к детям и подросткам во время использования этой технологии.

Научные сведения о том, что представляет собой безопасный опыт использования VR детьми и подростками, в лучшем случае немногочисленны [71]. Масштабные и лонгитюдные исследования влияния VR на людей детского и подросткового возрастов еще не проводились.

Список использованных источников

1. Zinchenko Yu. P., Kovalev A. I., Menshikova G. Ya., Shaigerova L. A. Postnonclassical methodology and application of virtual reality technologies in social research // *Psychology in Russia: State of the Art*. 2015. Vol. 8. Is. 4. P. 60–71. DOI: 10.11621/pir.2015.0405
2. Menshikova G. Ya., Saveleva O. A., Zinchenko Yu. P. The study of ethnic attitudes during interactions with avatars in virtual environments // *Psychology in Russia: State of the Art*. 2018. Vol. 11. Is. 1. P. 20–31. DOI: 10.11621/pir.2018.0102
3. Slater M., Sanchez-Vives M. V. Enhancing our lives with immersive virtual reality // *Front. Robot. AI*. 2016. Vol. 3:74. DOI: 10.3389/frobt.2016.00074
4. Sherman W. R., Craig A. B. Chapter 1 — Introduction to virtual reality // *Understanding Virtual Reality. Interface, Application, and Design*. Burlington: Morgan Kaufmann, 2019. P. 4–58. DOI: 10.1016/b978-0-12-800965-9.00001-5
5. Nalivaiko E., Davis S. L., Blackmore K. L., Vakulin A., Nesbitt K. V. Cybersickness provoked by head-mounted display affects cutaneous vascular tone, heart rate and reaction time // *Physiology and Behavior*. 2015. Vol. 151. P. 583–590. DOI: 10.1016/j.physbeh.2015.08.043
6. Servotte J.-C., Goosse M., Campbell S. H., Dardenne N., Pilote B., Simoneau I. L., Guillaume M., Bragard I., Ghuyssen A. Virtual reality experience: Immersion, sense of presence, and cybersickness // *Clinical Simulation in Nursing*. 2020. Vol. 38. P. 35–43. DOI: 10.1016/j.ecns.2019.09.006
7. Cummings J. J., Bailenson J. N. How immersive is enough? A meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence // *Media Psychology*. 2015. Vol. 19. Is. 2. P. 272–309. DOI: 10.1080/15213269.2015.1015740
8. Hudson S., Matson-Barkat S., Pallamin N., Jegou G. With or without you? Interaction and immersion in a virtual reality experience // *Journal of Business Research*. 2019. Vol. 100. P. 459–468. DOI: 10.1016/j.jbusres.2018.10.062
9. Jang S., Vitale J. M., Jyung R. W., Black J. B. Direct manipulation is better than passive viewing for learning anatomy in a three-dimensional virtual reality environment // *Computers & Education*. 2017. Vol. 106. P. 150–165. DOI: 10.1016/j.compedu.2016.12.009
10. Schnack A., Wright M. J., Holdershaw J. L. Immersive virtual reality technology in a three-dimensional virtual simulated store: Investigating telepresence and usability //

Food Research International. 2019. Vol. 117. P. 40–49. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.01.028

11. *Witmer B. G., Singer M. J.* Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire // *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 1998. Vol. 7. Is. 3. P. 225–240. DOI: 10.1162/105474698565686

12. *Domagh S., Schwartz R. N., Plass J. L.* Interactivity in multimedia learning: An integrated model // *Computers in Human Behavior*. 2010. Vol. 26. Is. 5. P. 1024–1033. DOI: 10.1016/j.chb.2010.03.003

13. *Голохваст К. С., Докучаев И. И., Сергиевич А. А., Смирнов А. С., Тумялис А. В., Хороших П. П.* Виртуальная реальность как компонент виртуальной среды обучения // *Известия Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена*. 2019. № 191. С. 32–44. https://lib.herzen.spb.ru/media/magazines/contents/1/191/golokhvast_191_32_44.pdf

14. *Radianti J., Majchrzak T. A., Fromm J., Wohlgenannt I.* A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda // *Computers & Education*. 2020. Vol. 147. DOI: 10.1016/j.compedu.2019.103778

15. *Merchant Z., Goetz E. T., Cifuentes L., Keeney-Kenncutt W., Davis T. J.* Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis // *Computers & Education*. 2014. Vol. 70. P. 29–40. DOI: 10.1016/j.compedu.2013.07.033

16. *Concannon B. J., Esmail S., Roberts M. R.* Head-Mounted Display Virtual Reality in Post-secondary Education and Skill Training // *Frontiers in Education*. 2019. Vol. 4. Is. 80. DOI: 10.3389/educ.2019.00080

17. *Jou M., Wang J.* Investigation of effects of virtual reality environments on learning performance of technical skills // *Computers in Human Behavior*. 2013. Vol. 29. Is. 2. P. 433–438. DOI: 10.1016/j.chb.2012.04.020

18. *da Cruz J. A. S., dos Reis S. T., Frati R. M. C., Duarte R. J., Nguyen H., Srougi M., Passerotti C. C.* Does warm-up training in a virtual reality simulator improve surgical performance? A prospective randomized analysis // *Journal of Surgical Education*. 2016. Vol. 73. Is. 6. P. 974–978. DOI: 10.1016/j.jsurg.2016.04.020

19. *Tüzün H., Özdiñç F.* The effects of 3D multi-user virtual environments on freshmen university students' conceptual and spatial learning and presence in departmental orientation // *Computers & Education*. 2016. Vol. 94. P. 228–240. DOI: 10.1016/j.compedu.2015.12.005

20. *Rusiñol M., Chazalon J., Diaz-Chito K.* Augmented songbook: an augmented reality educational application for raising music awareness // *Multimedia Tools and Applications*. 2017. Vol. 77. P. 13773–13798. DOI: 10.1007/s11042-017-4991-4

21. *Zinchenko Y. P., Khoroshikh P. P., Sergievich A. A., Smirnov A. S., Tumyalis A. V., Kovalev A. I., Gutnikov S. A., Golokhvast K. S.* Virtual reality is more efficient in learning human heart anatomy especially for subjects with low baseline knowledge // *New Ideas in Psychology*. 2020. Vol. 59. DOI: 10.1016/j.newideapsych.2020.100786

22. *Mayer R. E.* The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media // *Learning and Instruction*. 2003. Vol. 13. Is. 2. P. 125–139. DOI: 10.1016/s0959-4752(02)00016-6

23. *Golokhvast K. S., Sergievich A. A., Khoroshikh P. P., Smirnov A. S., Tumyalis A. V.* Use of virtual reality in medical practice in Russia // *TEM Journal*. 2019. Vol. 8. Is. 2. P. 591–597. DOI: 10.18421/TEM82-36

24. *Lee E. A.-L., Wong K. W.* Learning with desktop virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected // *Computers & Education*. 2014. Vol. 79. P. 49–58. DOI: 10.1016/j.compedu.2014.07.010

25. *Parong J., Mayer R. E.* Learning science in immersive virtual reality // *Journal of Educational Psychology*. 2018. Vol. 110. Is. 6. P. 785–797. DOI: 10.1037/edu0000241

26. *Makransky G., Terkildsen T. S., Mayer R. E.* Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning // *Learning and Instruction*. 2019. Vol. 60. P. 225–236. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2017.12.007

27. *Chen Y.-L.* The effects of virtual reality learning environment on student cognitive and linguistic development // *The Asia-Pacific Education Researcher*. 2016. Vol. 25. P. 637–646. DOI: 10.1007/s40299-016-0293-2

28. *Keshavarz B., Riecke B. E., Hettlinger L. J., Campos J. L.* Vection and visually induced motion sickness: how are they related? // *Frontiers in Psychology*. 2015. Vol. 6. Is. 472. DOI: 10.3389/fpsyg.2015.00472

29. *Gavani A. M., Wong R. H. X., Howe P. R. C., Hodgson D. M., Walker F. R., Nalivaiko E.* Cybersickness-related changes in brain hemodynamics: A pilot study comparing transcranial Doppler and near-infrared spectroscopy assessments during a virtual ride on a roller coaster // *Physiology & Behavior*. 2018. Vol. 191. P. 56–64. DOI: 10.1016/j.physbeh.2018.04.007

30. *Keshavarz B., Philipp-Muller A. E., Hemmerich W., Riecke B. E., Campos J. L.* The effect of visual motion stimulus characteristics on vection and visually induced motion sickness // *Displays*. 2019. Vol. 58. P. 71–81. DOI: 10.1016/j.displa.2018.07.005

31. *Dennison M. S., D'Zmura M.* Cybersickness without the wobble: Experimental results speak against postural instability theory // *Applied Ergonomics*. 2017. Vol. 58. P. 215–223. DOI: 10.1016/j.apergo.2016.06.014

32. *Weech S., Kenny S., Barnett-Cowan M.* Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: A review // *Frontiers in Psychology*. 2019. Vol. 10. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.00158

33. *Kim Y. Y., Kim H. J., Kim E. N., Ko H. D., Kim H. T.* Characteristic changes in the physiological components of cybersickness // *Psychophysiology*. 2005. Vol. 42. Is. 5. P. 616–625. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2005.00349.x

34. *Dennison M. S., Wisti A. Z., D'Zmura M.* Use of physiological signals to predict cybersickness // *Displays*. 2016. Vol. 44. P. 42–52. DOI: 10.1016/j.displa.2016.07.002

35. *Baumgartner T., Valko L., Esslen M., Jäncke L.* Neural correlate of spatial presence in an arousing and noninteractive virtual reality: An EEG and psychophysiology study // *CyberPsychology & Behavior*. 2006. Vol. 9. No. 1. P. 30–45. DOI: 10.1089/cpb.2006.9.30

36. *Gavani A. M., Hodgson D. M., Nalivaiko E.* Effects of visual flow direction on signs and symptoms of cybersickness // *PLoS ONE*. 2017. Vol. 12. Is. 8. DOI: 10.1371/journal.pone.0182790

37. *Galvan Debarba H., Bovet S., Salomon R., Blanke O., Herbelin B., Boulic R.* Characterizing first and third person viewpoints and their alternation for embodied interaction in virtual reality // *PLoS ONE*. 2017. Vol. 12. Is. 12. DOI: 10.1371/journal.pone.0190109

38. *Gromer D., Reinke M., Christner I., Pauli P.* Causal interactive links between presence and fear in virtual reality height exposure // *Frontiers in Psychology*. 2019. Vol. 10. Is. 141. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.00141

39. *Tychsen L., Foeller P.* Effects of immersive virtual reality headset viewing on young children: Visuomotor function, postural stability, and motion sickness // *American Journal of Ophthalmology*. 2020. Vol. 209. P. 151–159. DOI: 10.1016/j.ajo.2019.07.020

40. *Nolin P., Stipanich A., Henry M., Lachapelle Y., Lussier-Desrochers D., "Skip" Rizzo A., Allain P.* ClinicaVR: Classroom-CPT: A virtual reality tool for assessing attention and inhibition in children and adolescents // *Computers in Human Behavior*. 2016. Vol. 59. P. 327–333. DOI: 10.1016/j.chb.2016.02.023

41. *Johnson W. H., Sunahara F. A., Landolt J. P.* Importance of the vestibular system in visually induced nausea and self-vection // *Journal of Vestibular Research*. 1999. Vol. 9.

No. 2. P. 83–87. <https://content.iospress.com/articles/journal-of-vestibular-research/ves00009>

42. Arcioni B., Palmisano S., Aphorhp D., Kim J. Postural stability predicts the likelihood of cybersickness in active HMD-based virtual reality // *Displays*. 2019. Vol. 58. P. 3–11. DOI: 10.1016/j.displa.2018.07.001

43. Yamada-Rice D., Mushtaq F., Woodgate A., Bosmans D., Douthwaite A., Douthwaite I., Harris W., Holt R., Kleeman D., Marsh J., Milovidov E. H., Mon Williams M., Parry B., Riddler A., Robinson P., Rodrigues D., Thompson S. C., Whitley S. Children and virtual reality: Emerging possibilities and challenges. 2017. <http://digilitey.eu/wp-content/uploads/2015/09/CVR-Final-PDF-reduced-size.pdf>

44. Clemente M., Rodríguez A., Rey B., Alcañiz M. Assessment of the influence of navigation control and screen size on the sense of presence in virtual reality using EEG // *Expert Systems with Applications*. 2014. Vol. 41. Is. 4. Part 2. P. 1584–1592. DOI: 10.1016/j.eswa.2013.08.055

45. Kober S. E., Neuper C. Using auditory event-related EEG potentials to assess presence in virtual reality // *International Journal of Human-Computer Studies*. 2012. Vol. 70. Is. 9. P. 577–587. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2012.03.004

46. Baumgartner T., Speck D., Wettstein D., Masnari O., Beeli G., Jäncke L. Feeling present in arousing virtual reality worlds: prefrontal brain regions differentially orchestrate presence experience in adults and children // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2008. Vol. 2. Is. 8. DOI: 10.3389/neuro.09.008.2008

47. Clemente M., Rey B., Rodríguez-Pujadas A., Barros-Loscertales A., Baños R. M., Botella C., Alcañiz M., Avila C. An fMRI study to analyze neural correlates of presence during virtual reality experiences // *Interacting with Computers*. 2013. Vol. 26. Is. 3. P. 269–284. DOI: 10.1093/iwc/iwt037

48. Hesse K., Schroeder P. A., Scheeff J., Klingberg S., Plewnia C. Experimental variation of social stress in virtual reality — Feasibility and first results in patients with psychotic disorders // *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*. 2017. Vol. 56. P. 129–136. DOI: 10.1016/j.jbtep.2016.11.006

49. Veling W., Brinkman W.-P., Dorrestijn E., van der Gaag M. Virtual reality experiments linking social environment and psychosis: A pilot study // *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*. 2014. Vol. 17. No. 3. P. 191–195. DOI: 10.1089/cyber.2012.0497

50. Fornells-Ambrojo M., Barker C., Swapp D., Slater M., Antley A., Freeman D. Virtual reality and persecutory delusions: Safety and feasibility // *Schizophrenia Research*. 2008. Vol. 104. Is. 1–3. P. 228–236. DOI: 10.1016/j.schres.2008.05.013

51. Cuperus A. A., Klaassen F., Hagenars M. A., Engelhard I. M. A virtual reality paradigm as an analogue to real-life trauma: its effectiveness compared with the trauma film paradigm // *European Journal of Psychotraumatology*. 2017. Vol. 8. Is. sup. 1. DOI: 10.1080/20008198.2017.1338106

52. Cuperus A. A., Laken M., van den Hout M. A., Engelhard I. M. Degrading emotional memories induced by a virtual reality paradigm // *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*. 2016. Vol. 52. P. 45–50. DOI: 10.1016/j.jbtep.2016.03.004

53. Dibbets P. A novel virtual reality paradigm: Predictors for stress-related intrusions and avoidance behavior // *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*. 2019. Vol. 67. DOI: 10.1016/j.jbtep.2019.01.001

54. Cipresso P., Giglioli I. A. C., Raya M. A., Riva G. The past, present, and future of virtual and augmented reality research: A network and cluster analysis of the literature // *Frontiers in Psychology*. 2018. Vol. 9. Is. 2086. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.02086

55. Lamb R., Antonenko P., Etopio E., Seccia A. Comparison of virtual reality and hands on activities in science educa-

tion via functional near infrared spectroscopy // *Computers & Education*. 2018. Vol. 124. P. 14–26. DOI: 10.1016/j.compedu.2018.05.014

56. Bouzar M. A., Tandjaoui M. N., Kadri B., Benachaiba C. Virtual laboratory: Methodology of design and develop — case teaching the handling of the robotic arm // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2018. Vol. 9. Is. 6. P. 14–21. http://www.iaeme.com/ijmet/IJMET_Paper.asp?sno=11749

57. Yang Y., Zhang D., Ji T., Li L., He Y. Designing educational games based on intangible cultural heritage for rural children: A case study on «Logic Huayao» // *Advances in human factors in wearable technologies and game design. International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. 2018. P. 378–389. DOI: 10.1007/978-3-319-94619-1_38

58. Virvou M., Katsionis G. On the usability and likeability of virtual reality games for education: The case of VR-ENGAGE // *Computers & Education*. 2008. Vol. 50. Is. 1. P. 154–178. DOI: 10.1016/j.compedu.2006.04.004

59. Winn W. A conceptual basis for educational applications of virtual reality. 1993.

60. Dalgarno B., Lee M. J. W. What are the learning affordances of 3-D virtual environments? // *British Journal of Educational Technology*. 2009. Vol. 41. Is. 1. P. 10–32. DOI: 10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x

61. Potkonjak V., Gardner M., Callaghan V., Mattila P., Guetl C., Petrović V. M., Jovanović K. Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review // *Computers & Education*. 2016. Vol. 95. P. 309–327. DOI: 10.1016/j.compedu.2016.02.002

62. Skinner B. F. Operant behavior // *American Psychologist*. 1963. Vol. 18. Is. 8. P. 503–515. DOI: 10.1037/h0045185

63. Kolb A. Y., Kolb D. A. Experiential learning theory // *Encyclopedia of the Sciences of Learning*. 2012. P. 1215–1219. DOI: 10.1007/978-1-4419-1428-6_227

64. Zhou Y., Ji S., Xu T., Wang Z. Promoting knowledge construction: A model for using virtual reality interaction to enhance learning // *Procedia Computer Science*. 2018. Vol. 130. P. 239–246. DOI: 10.1016/j.procs.2018.04.035

65. Mayer R. E. Cognitive theory of multimedia learning // *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. 2014. P. 43–71. DOI: 10.1017/cbo9781139547369.005

66. Madary M., Metzinger T. K. Real virtuality: A code of ethical conduct. recommendations for good scientific practice and the consumers of VR-technology // *Frontiers in Robotics and AI*. 2016. Vol. 3. Is. 3. DOI: 10.3389/frobt.2016.00003

67. Tumyalis A., Smirnov A., Fadeev K., Alikovskaia T., Khoroshikh P., Sergievich A., Golokhvast K. Motor program transformation of throwing dart from the third-person perspective // *Brain Sciences*. 2019. Vol. 10. Is. 1. P. 55. DOI: 10.3390/brainsci10010055

68. Fadeev K. A., Smirnov A. S., Zhigalova O. P., Bazhina P. S., Tumyalis A. V., Golokhvast K. S. Too real to be virtual: Autonomic and EEG responses to extreme stress scenarios in virtual reality // *Behavior Neurology*. 2020. Vol. 2020. 11 p. DOI: 10.1155/2020/5758038

69. McCabe-Bennett H., Lachman R., Girard T. A., Antony M. M. A virtual reality study of the relationships between hoarding, clutter, and claustrophobia // *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*. 2020. Vol. 23. No. 2. P. 83–89. DOI: 10.1089/cyber.2019.0320

70. Southgate E., Smith S. P., Scevak J. Asking ethical questions in research using immersive virtual and augmented reality technologies with children and youth // *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*. IEEE, 2017. DOI: 10.1109/vr.2017.7892226

71. Jou M., Wang J. Investigation of effects of virtual reality environments on learning performance of technical skills // *Computers in Human Behavior*. 2013. Vol. 29. Is. 2. P. 433–438. DOI: 10.1016/j.chb.2012.04.020

VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS: PROSPECTS AND DANGERS

A. S. Smirnov^{1,2}, K. A. Fadeev^{1,2}, T. A. Alikovskaia^{1,2}, A. V. Tumyalis^{1,2}, K. S. Golokhvast^{1,2}

¹ Far Eastern Federal University

690990, Russia, Primorsky Krai, Vladivostok, ul. Sukhanova, 8

² Far Eastern Regional Scientific Centre of the Russian Academy of Education

690922, Russia, Primorsky Krai, Vladivostok, poselok Ajax, 10

Abstract

The development and implementation of new information and communication technologies provide new forms of interaction between a computer and a person. One of these forms is virtual reality. The article examines immersive virtual reality and provides an analysis of 71 Russian and foreign works devoted to the latest research in the field of studying the phenomenon of virtual reality from the point of view of pedagogical and psychological sciences. Particular attention is paid to the impact of virtual reality on brain activity, behavior and learning. The study of these issues is necessary to analyze the possibility of using virtual reality in education. The sensation of being in a virtual environment in health and disease is considered, a description of the characteristics of virtual environments used in education is given. It is shown that the use of virtual reality demonstrates excellent opportunities in education, but it can also have some negative psychophysiological effects. The review discusses the data obtained by Russian and foreign researchers on the possible psychological risks of prolonged immersion of children and adolescents in virtual reality and suggests the use of virtual reality only on the basis of preliminary testing or questioning. It is concluded that virtual reality, like any other new phenomenon, requires further study.

Keywords: virtual reality, education, pedagogy, psychology, prospects, negative effect.

DOI: 10.32517/0234-0453-2020-35-6-4-16

For citation:

Smirnov A. S., Fadeev K. A., Alikovskaia T. A., Tumyalis A. V., Golokhvast K. S. Tekhnologii virtual'noj real'nosti v obrazovatel'nom protsesse: perspektivy i opasnosti [Virtual reality technologies in the educational process: Prospects and dangers]. *Informatika i obrazovanie — Informatics and Education*, 2020, no. 6, p. 4–16. (In Russian.)

Received: April 3, 2020.

Accepted: June 23, 2020.

About the authors

Alexey S. Smirnov, Leading Specialist of the NTI Center for Neurotechnologies, Virtual and Augmented Reality Technologies, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia; Researcher at the Laboratory of Pedagogical Psychophysiology, Far Eastern Regional Scientific Centre of the Russian Academy of Education, Vladivostok, Russia; smirnov.aseg@dvfu.ru; ORCID: 0000-0002-4842-5599

Kirill A. Fadeev, Research Lab Technician of the NTI Center for Neurotechnologies, Virtual and Augmented Reality Technologies, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia; Researcher at the Laboratory of Pedagogical Psychophysiology, Far Eastern Regional Scientific Centre of the Russian Academy of Education, Vladivostok, Russia; fadeevk.fefu@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2480-5527

Tatyana A. Alikovskaia, Research Lab Technician of the NTI Center for Neurotechnologies, Virtual and Augmented Reality Technologies, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia; Researcher at the Laboratory of Pedagogical Psychophysiology, Far Eastern Regional Scientific Centre of the Russian Academy of Education, Vladivostok, Russia; alikovskaia.ta@dvfu.ru; ORCID: 0000-0001-6272-2365

Alexey V. Tumyalis, Candidate of Sciences (Biology), Leading Researcher of the NTI Center for Neurotechnologies, Virtual and Augmented Reality Technologies, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia; Leading Researcher at the Laboratory of Pedagogical Psychophysiology, Far Eastern Regional Scientific Centre of the Russian Academy of Education, Vladivostok, Russia; tumyalis.av@dvfu.ru; ORCID: 0000-0002-8868-6312

Kirill S. Golokhvast, Corresponding Member of RAE, Doctor of Sciences (Biology), Professor of RAS, Professor at the Department of Life Safety in Technological Environment, School of Engineering, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia; Head of the Laboratory of Pedagogical Psychophysiology, Far Eastern Regional Scientific Centre of the Russian Academy of Education, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia; golokhvast.ks@mail.ru; ORCID: 0000-0002-4873-2281

References

1. Zinchenko Yu. P., Kovalev A. I., Menshikova G. Ya., Shaigerova L. A. Postnonclassical methodology and application of virtual reality technologies in social research. *Psychology in Russia: State of the Art*, 2015, vol. 8, is. 4, p. 60–71. DOI: 10.11621/pir.2015.0405
2. Menshikova G. Ya., Saveleva O. A., Zinchenko Yu. P. The study of ethnic attitudes during interactions with avatars in virtual environments. *Psychology in Russia: State of the Art*, 2018, vol. 11, is. 1, p. 20–31. DOI: 10.11621/pir.2018.0102
3. Slater M., Sanchez-Vives M. V. Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Front. Robot. AI*, 2016, vol. 3:74. DOI: 10.3389/frobt.2016.00074
4. Sherman W. R., Craig A. B. Chapter 1 – Introduction to virtual reality. *Understanding Virtual Reality. Interface, Application, and Design*. Burlington, Morgan Kaufmann, 2019, p. 4–58. DOI: 10.1016/b978-0-12-800965-9.00001-5
5. Nalivaiko E., Davis S. L., Blackmore K. L., Vakulin A., Nesbitt K. V. Cybersickness provoked by head-mounted display affects cutaneous vascular tone, heart rate and reaction time. *Physiology and Behavior*, 2015, vol. 151, p. 583–590. DOI: 10.1016/j.physbeh.2015.08.043
6. Servotte J.-C., Goosse M., Campbell S. H., Dardenne N., Pilote B., Simoneau I. L., Guillaume M., Bragard I., Ghuyssen A. Virtual reality experience: Immersion, sense of presence, and cybersickness. *Clinical Simulation in Nursing*, 2020, vol. 38, p. 35–43. DOI: 10.1016/j.ecns.2019.09.006
7. Cummings J. J., Bailenson J. N. How immersive is enough? A meta-analysis of the effect of immersive technology on user presence. *Media Psychology*, 2015, vol. 19, is. 2, p. 272–309. DOI: 10.1080/15213269.2015.1015740
8. Hudson S., Matson-Barkat S., Pallamin N., Jegou G. With or without you? Interaction and immersion in a virtual reality experience // *Journal of Business Research*, 2019, vol. 100, p. 459–468. DOI: 10.1016/j.jbusres.2018.10.062
9. Jang S., Vitale J. M., Jyung R. W., Black J. B. Direct manipulation is better than passive viewing for learning anatomy in a three-dimensional virtual reality environment. *Computers & Education*, 2017, vol. 106, p. 150–165. DOI: 10.1016/j.compedu.2016.12.009

10. Schnack A., Wright M. J., Holdershaw J. L. Immersive virtual reality technology in a three-dimensional virtual simulated store: Investigating telepresence and usability. *Food Research International*, 2019, vol. 117, p. 40–49. DOI: 10.1016/j.foodres.2018.01.028
11. Witmer B. G., Singer M. J. Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1998, vol. 7, is. 3, p. 225–240. DOI: 10.1162/105474698565686
12. Domagk S., Schwartz R. N., Plass J. L. Interactivity in multimedia learning: An integrated model. *Computers in Human Behavior*, 2010, vol. 26, is. 5, p. 1024–1033. DOI: 10.1016/j.chb.2010.03.003
13. Golokhvast K. S., Dokuchaev I. I., Sergievich A. A., Smirnov A. S., Tumyalis A. V., Khoroshikh P. P. Virtual'naya real'nost' kak komponent virtual'noj sredy obucheniya [Virtual reality as a component of virtual educational environment]. *Izvestiya Rossijskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni A. I. Gertsena — Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Sciences*, 2019, no. 191, p. 32–44. (In Russian.) Available at: https://lib.herzen.spb.ru/media/magazines/contents/1/191/golokhvast_191_32_44.pdf
14. Radianti J., Majchrzak T. A., Fromm J., Wohlgenannt I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 2020, vol. 147. DOI: 10.1016/j.compedu.2019.103778
15. Merchant Z., Goetz E. T., Cifuentes L., Keeney-Kenicutt W., Davis T. J. Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 2014, vol. 70, p. 29–40. DOI: 10.1016/j.compedu.2013.07.033
16. Concannon B. J., Esmail S., Roberts M. R. Head-Mounted Display Virtual Reality in Post-secondary Education and Skill Training. *Frontiers in Education*, 2019, vol. 4, is. 80. DOI: 10.3389/educ.2019.00080
17. Jou M., Wang J. Investigation of effects of virtual reality environments on learning performance of technical skills. *Computers in Human Behavior*, 2013, vol. 29, is. 2, p. 433–438. DOI: 10.1016/j.chb.2012.04.020
18. da Cruz J. A. S., dos Reis S. T., Frati R. M. C., Duarte R. J., Nguyen H., Srougi M., Passerotti C. C. Does warm-up training in a virtual reality simulator improve surgical performance? A prospective randomized analysis. *Journal of Surgical Education*, 2016, vol. 73, is. 6, p. 974–978. DOI: 10.1016/j.jsurg.2016.04.020
19. Tüzün H., Özdiñç F. The effects of 3D multi-user virtual environments on freshmen university students' conceptual and spatial learning and presence in departmental orientation. *Computers & Education*, 2016, vol. 94, p. 228–240. DOI: 10.1016/j.compedu.2015.12.005
20. Rusiñol M., Chazalon J., Diaz-Chito K. Augmented songbook: an augmented reality educational application for raising music awareness. *Multimedia Tools and Applications*, 2017, vol. 77, p. 13773–13798. DOI: 10.1007/s11042-017-4991-4
21. Zinchenko Y. P., Khoroshikh P. P., Sergievich A. A., Smirnov A. S., Tumyalis A. V., Kovalev A. I., Gutnikov S. A., Golokhvast K. S. Virtual reality is more efficient in learning human heart anatomy especially for subjects with low baseline knowledge. *New Ideas in Psychology*, 2020, vol. 59. DOI: 10.1016/j.newideapsych.2020.100786
22. Mayer R. E. The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, 2003, vol. 13, is. 2, p. 125–139. DOI: 10.1016/s0959-4752(02)00016-6
23. Golokhvast K. S., Sergievich A. A., Khoroshikh P. P., Smirnov A. S., Tumyalis A. V. Use of virtual reality in medical practice in Russia. *TEM Journal*, 2019, vol. 8, is. 2, p. 591–597. DOI: 10.18421/TEM82-36
24. Lee E. A.-L., Wong K. W. Learning with desktop virtual reality: Low spatial ability learners are more positively affected. *Computers & Education*, 2014, vol. 79, p. 49–58. DOI: 10.1016/j.compedu.2014.07.010
25. Parong J., Mayer R. E. Learning science in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, 2018, vol. 110, is. 6, p. 785–797. DOI: 10.1037/edu0000241
26. Makransky G., Terkildsen T. S., Mayer R. E. Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*, 2019, vol. 60, p. 225–236. DOI: 10.1016/j.learninstruc.2017.12.007
27. Chen Y.-L. The effects of virtual reality learning environment on student cognitive and linguistic development. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 2016, vol. 25, p. 637–646. DOI: 10.1007/s40299-016-0293-2
28. Keshavarz B., Riecke B. E., Hettlinger L. J., Campos J. L. Vection and visually induced motion sickness: how are they related? *Frontiers in Psychology*, 2015, vol. 6, is. 472. DOI: 10.3389/fpsyg.2015.00472
29. Gavgani A. M., Wong R. H. X., Howe P. R. C., Hodgson D. M., Walker F. R., Nalivaiko E. Cybersickness-related changes in brain hemodynamics: A pilot study comparing transcranial Doppler and near-infrared spectroscopy assessments during a virtual ride on a roller coaster. *Physiology & Behavior*, 2018, vol. 191, p. 56–64. DOI: 10.1016/j.physbeh.2018.04.007
30. Keshavarz B., Philipp-Muller A. E., Hemmerich W., Riecke B. E., Campos J. L. The effect of visual motion stimulus characteristics on vection and visually induced motion sickness. *Displays*, 2019, vol. 58, p. 71–81. DOI: 10.1016/j.displa.2018.07.005
31. Dennison M. S., D'Zmura M. Cybersickness without the wobble: Experimental results speak against postural instability theory. *Applied Ergonomics*, 2017, vol. 58, p. 215–223. DOI: 10.1016/j.apergo.2016.06.014
32. Weech S., Kenny S., Barnett-Cowan M. Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: A review. *Frontiers in Psychology*, 2019, vol. 10. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.00158
33. Kim Y. Y., Kim H. J., Kim E. N., Ko H. D., Kim H. T. Characteristic changes in the physiological components of cybersickness. *Psychophysiology*, 2005, vol. 42, is. 5, p. 616–625. DOI: 10.1111/j.1469-8986.2005.00349.x
34. Dennison M. S., Wisti A. Z., D'Zmura M. Use of physiological signals to predict cybersickness. *Displays*, 2016, vol. 44, p. 42–52. DOI: 10.1016/j.displa.2016.07.002
35. Baumgartner T., Valko L., Esslen M., Jäncke L. Neural correlate of spatial presence in an arousing and noninteractive virtual reality: An EEG and psychophysiology study. *CyberPsychology & Behavior*, 2006, vol. 9, no. 1, p. 30–45. DOI: 10.1089/cpb.2006.9.30
36. Gavgani A. M., Hodgson D. M., Nalivaiko E. Effects of visual flow direction on signs and symptoms of cybersickness. *PLoS ONE*, 2017, vol. 12, is. 8. DOI: 10.1371/journal.pone.0182790
37. Galvan Debarba H., Bovet S., Salomon R., Blanke O., Herbelin B., Boulic R. Characterizing first and third person viewpoints and their alternation for embodied interaction in virtual reality. *PLoS ONE*, 2017, vol. 12, is. 12. DOI: 10.1371/journal.pone.0190109
38. Gromer D., Reinke M., Christner I., Pauli P. Causal interactive links between presence and fear in virtual reality height exposure. *Frontiers in Psychology*, 2019, vol. 10, is. 141. DOI: 10.3389/fpsyg.2019.00141
39. Tyachsen L., Foeller P. Effects of immersive virtual reality headset viewing on young children: Visuomotor function, postural stability, and motion sickness. *American Journal of Ophthalmology*, 2020, vol. 209, p. 151–159. DOI: 10.1016/j.ajo.2019.07.020
40. Nolin P., Stipanovic A., Henry M., Lachapelle Y., Lussier-Desrochers D., "Skip" Rizzo A., Allain P. ClinicaVR: Classroom-CPT: A virtual reality tool for assessing attention and inhibition in children and adolescents. *Computers in Hu-*

man Behavior, 2016, vol. 59, p. 327–333. DOI: 10.1016/j.chb.2016.02.023

41. Johnson W. H., Sunahara F. A., Landolt J. P. Importance of the vestibular system in visually induced nausea and self-vection. *Journal of Vestibular Research*, 1999, vol. 9, no. 2, p. 83–87. Available at: <https://content.iospress.com/articles/journal-of-vestibular-research/ves00009>

42. Arcioni B., Palmisano S., Aphorpe D., Kim J. Postural stability predicts the likelihood of cybersickness in active HMD-based virtual reality. *Displays*, 2019, vol. 58, p. 3–11. DOI: 10.1016/j.displa.2018.07.001

43. Yamada-Rice D., Mushtaq F., Woodgate A., Bosmans D., Douthwaite A., Douthwaite I., Harris W., Holt R., Kleeman D., Marsh J., Milovidov E. H., Mon Williams M., Parry B., Riddler A., Robinson P., Rodrigues D., Thompson S. C., Whitley S. Children and virtual reality: Emerging possibilities and challenges. 2017. Available at: <http://digilitey.eu/wp-content/uploads/2015/09/CVR-Final-PDF-reduced-size.pdf>

44. Clemente M., Rodríguez A., Rey B., Alcañiz M. Assessment of the influence of navigation control and screen size on the sense of presence in virtual reality using EEG. *Expert Systems with Applications*, 2014, vol. 41, is. 4, part 2, p. 1584–1592. DOI: 10.1016/j.eswa.2013.08.055

45. Kober S. E., Neuper C. Using auditory event-related EEG potentials to assess presence in virtual reality. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2012, vol. 70, is. 9, p. 577–587. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2012.03.004

46. Baumgartner T., Speck D., Wettstein D., Masnari O., Beeli G., Jäncke L. Feeling present in arousing virtual reality worlds: prefrontal brain regions differentially orchestrate presence experience in adults and children. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2008, vol. 2, is. 8. DOI: 10.3389/neuro.09.008.2008

47. Clemente M., Rey B., Rodríguez-Pujadas A., Barros-Loscertales A., Baños R. M., Botella C., Alcañiz M., Ávila C. An fMRI study to analyze neural correlates of presence during virtual reality experiences. *Interacting with Computers*, 2013, vol. 26, is. 3, p. 269–284. DOI: 10.1093/iwc/iwt037

48. Hesse K., Schroeder P. A., Scheeff J., Klingberg S., Plewnia C. Experimental variation of social stress in virtual reality — Feasibility and first results in patients with psychotic disorders. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 2017, vol. 56, p. 129–136. DOI: 10.1016/j.jbtep.2016.11.006

49. Veling W., Brinkman W.-P., Dorrestijn E., van der Gaag M. Virtual reality experiments linking social environment and psychosis: A pilot study. *Cyberpsychology, Behavior and Social Networking*, 2014, vol. 17, no. 3, p. 191–195. DOI: 10.1089/cyber.2012.0497

50. Fornells-Ambrojo M., Barker C., Swapp D., Slater M., Antley A., Freeman D. Virtual reality and persecutory delusions: Safety and feasibility. *Schizophrenia Research*, 2008, vol. 104, is. 1–3, p. 228–236. DOI: 10.1016/j.schres.2008.05.013

51. Cuperus A. A., Klaassen F., Hagenaars M. A., Engelhard I. M. A virtual reality paradigm as an analogue to real-life trauma: its effectiveness compared with the trauma film paradigm. *European Journal of Psychotraumatology*, 2017, vol. 8, is. sup. 1. DOI: 10.1080/20008198.2017.1338106

52. Cuperus A. A., Laken M., van den Hout M. A., Engelhard I. M. Degrading emotional memories induced by a virtual reality paradigm. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 2016, vol. 52, p. 45–50. DOI: 10.1016/j.jbtep.2016.03.004

53. Dibbets P. A novel virtual reality paradigm: Predictors for stress-related intrusions and avoidance behavior. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, 2019, vol. 67. DOI: 10.1016/j.jbtep.2019.01.001

54. Cipresso P., Giglioli I. A. C., Raya M. A., Riva G. The past, present, and future of virtual and augmented reality research: A network and cluster analysis of the literature. *Frontiers in Psychology*, 2018, vol. 9, is. 2086. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.02086

55. Lamb R., Antonenko P., Etopio E., Seccia A. Comparison of virtual reality and hands on activities in science education via functional near infrared spectroscopy. *Computers & Education*, 2018, vol. 124, p. 14–26. DOI: 10.1016/j.compedu.2018.05.014

56. Bouzar M. A., Tandjaoui M. N., Kadri B., Benachiba C. Virtual laboratory: Methodology of design and development — case teaching the handling of the robotic arm. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2018, vol. 9, is. 6, p. 14–21. Available at: http://www.iaeme.com/ijmet/IJMET_Paper.asp?sno=11749

57. Yang Y., Zhang D., Ji T., Li L., He Y. Designing educational games based on intangible cultural heritage for rural children: A case study on “Logic Huayao”. *Advances in human factors in wearable technologies and game design. International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*, 2018, p. 378–389. DOI: 10.1007/978-3-319-94619-1_38

58. Virvou M., Katsionis G. On the usability and likeability of virtual reality games for education: The case of VR-ENGAGE. *Computers & Education*, 2008, vol. 50, is. 1, p. 154–178. DOI: 10.1016/j.compedu.2006.04.004

59. Winn W. A conceptual basis for educational applications of virtual reality. 1993.

60. Dalgarno B., Lee M. J. W. What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 2009, vol. 41, is. 1, p. 10–32. DOI: 10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x

61. Potkonjak V., Gardner M., Callaghan V., Mattila P., Guetl C., Petrović V. M., Jovanović K. Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers & Education*, 2016, vol. 95, p. 309–327. DOI: 10.1016/j.compedu.2016.02.002

62. Skinner B. F. Operant behavior. *American Psychologist*, 1963, vol. 18, is. 8, p. 503–515. DOI: 10.1037/h0045185

63. Kolb A. Y., Kolb D. A. Experiential learning theory. *Encyclopedia of the Sciences of Learning*, 2012, p. 1215–1219. DOI: 10.1007/978-1-4419-1428-6_227

64. Zhou Y., Ji S., Xu T., Wang Z. Promoting knowledge construction: A model for using virtual reality interaction to enhance learning. *Procedia Computer Science*, 2018, vol. 130, p. 239–246. DOI: 10.1016/j.procs.2018.04.035

65. Mayer R. E. Cognitive theory of multimedia learning. *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, 2014, p. 43–71. DOI: 10.1017/cbo9781139547369.005

66. Madary M., Metzinger T. K. Real virtuality: A code of ethical conduct. recommendations for good scientific practice and the consumers of VR-technology. *Frontiers in Robotics and AI*, 2016, vol. 3, is. 3. DOI: 10.3389/frobt.2016.00003

67. Tummyalis A., Smirnov A., Fadeev K., Alikovskaia T., Khoroshikh P., Sergievich A., Golokhvast K. Motor program transformation of throwing dart from the third-person perspective. *Brain Sciences*, 2019, vol. 10, is. 1, p. 55. DOI: 10.3390/brainsci10010055

68. Fadeev K. A., Smirnov A. S., Zhigalova O. P., Bazhina P. S., Tummyalis A. V., Golokhvast K. S. Too real to be virtual: Autonomic and EEG responses to extreme stress scenarios in virtual reality. *Behavior Neurology*, 2020, vol. 2020, 11 p. DOI: 10.1155/2020/5758038

69. McCabe-Bennett H., Lachman R., Girard T. A., Antony M. M. A virtual reality study of the relationships between hoarding, clutter, and claustrophobia. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 2020, vol. 23, no. 2, p. 83–89. DOI: 10.1089/cyber.2019.0320

70. Southgate E., Smith S. P., Scevak J. Asking ethical questions in research using immersive virtual and augmented reality technologies with children and youth. *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*. IEEE, 2017. DOI: 10.1109/vr.2017.7892226

71. Jou M., Wang J. Investigation of effects of virtual reality environments on learning performance of technical skills. *Computers in Human Behavior*, 2013, vol. 29, is. 2, p. 433–438. DOI: 10.1016/j.chb.2012.04.020