

А. Е. Глазырин, аспирант, glazyrin.andre@mail.ru,
И. В. Петухов, д-р техн. наук, проф., PetuhovIV@volgategh.net,
Л. А. Стешина, канд. техн. наук, доц., SteshinaLA@volgategh.net,
 Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола

Тренажеры виртуальной реальности: проблемы и перспективы использования в качестве средств подготовки оперативного персонала¹

Представлен обзор современных подходов к использованию средств виртуальной реальности в качестве средств подготовки оперативного персонала эргатических систем. Отдельные акценты сделаны на проблемах использования средств виртуальной и дополненной реальности, связанных с вероятностным когнитивным диссонансом, возникающим при управлении реальными физическими объектами. Обозначены перспективы использования средств виртуальной реальности в профессиональной подготовке.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, тренажер, симулятор, человек-оператор, эргатические системы

Введение

Несмотря на значительные успехи автоматизации и интеллектуализации, значительная часть современных сложных технических объектов включает в контур управления человека-оператора и относится к классу эргатических систем (ЭС). Повышение требований к информационной и технической составляющим ЭС приводит к естественному повышению требований и к самому человеку-оператору: его надежности, производительности, стабильности его параметров и т. д.

Повышение требований к качеству работы оператора обусловлено увеличением числа объектов управления, изменением условий труда, ростом скорости и сложности производственных процессов и т.п. В результате значительно увеличивается срок подготовки операторов, меняются методические принципы профессиональной подготовки, внедряются новые технические средства подготовки.

Очевидно, что квалификация оператора напрямую зависит от качества его подготовки [1]. Также от уровня подготовки оператора напрямую зависит эффективность его деятельности, в том числе производительность [2], безопасность [3], сохранность технологического оборудования [4].

В связи с этим возникает задача повышения эффективности подготовки операторов ЭС, которая может быть решена, в частности, за счет использования современных средств виртуализации, интеллектуализации и информатизации.

¹ Результаты исследования получены при поддержке гранта Министерства образования и науки РФ № 25.1095.2017/4.6.

В данной статье представлен обзор современных подходов к использованию средств виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (DR) для профессиональной подготовки операторов ЭС.

Принципы взаимодействия объектов и субъектов в ЭС

Типичная схема человеко-машинного взаимодействия отображает процессы восприятия информации, ее переработки, принятия решения, его реализации, а также проверки принятого решения и его коррекции в едином контуре (см. рисунок).

Большинство известных моделей ЭС по сути представляют различные вариации данной традиционной модели [6].

С точки зрения модели взаимодействия человека-оператора с технической (информационной) системой наибольший интерес вызывают работы исследователей Мичиганского университета [7],

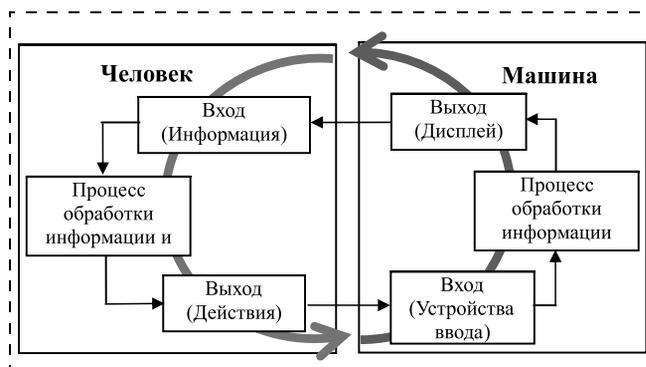


Схема человеко-машинного взаимодействия [5]

предложивших сетевую модель очередности действий человека-оператора на сенсорном (перцептивном), когнитивном и моторном уровнях. Данная модель позволяет исследовать временные интервалы, затраченные на принятие решения и формирование управляющего воздействия в зависимости от входного сенсорного сигнала. Отдельный интерес исследователей вызывают модели когнитивной деятельности человека [8—13], широко представленные в современной научной литературе.

Согласно традиционным представлениям, человек формирует некоторую систему психических образов, которая лежит в основе регуляции поведения и, в конечном счете, его жизни в целом и профессиональной деятельности, в частности. На нижнем уровне декомпозиции можно выделить [14]: модель профессиональной среды, модель профессиональной деятельности и модель субъекта деятельности. Совокупность этих моделей, по сути, определяет концептуальную модель профессиональной деятельности (КМПД), под которой можно понимать своеобразный внутренний мир человека-деятели, который базируется на большом количестве информации о профессиональной среде, о предмете труда, о целях, средствах и способах деятельности. КМПД включает в себя представление специалиста о профессиональных задачах, знание последствий правильных и ошибочных решений, готовность к нестандартным, маловероятным событиям [14].

Таким образом, оператор должен обладать широким спектром профессиональных качеств и навыков для успешного выполнения своих функциональных обязанностей, интегрированных в его КМПД. Для этого необходимы такие средства обучения и оценки профессиональной пригодности, которые учитывают современные тенденции усложнения технических систем, особенности работы на производстве и т. д.

Обзор современных средств подготовки оперативного персонала

На сегодняшний день выделяют различные виды подготовки операторов ЭС, причем основным техническим средством, обеспечивающим реализацию дидактических задач по формированию элементов профессиональной готовности оператора, является тренажер [15]. Особенностью тренажеров является их ориентация на освоение определенных алгоритмов профессиональной деятельности как важной составляющей в становлении профессионализма человека, отработку сенсорных и моторных действий.

Сегодня активно используются автоматизированные тренажерные системы (АТС) с высокой степенью автоматизации процессов управления обучением. АТС обеспечивают погружение обучаемого в среду с управляемыми параметрами, воспроизводящую всевозможные сценарии работы оператора в рамках имитационной среды [16] через

математическую модель объекта или информационную модель управления [17]. Это позволяет обеспечить тренировку оперативного персонала не только на сенсорном и моторном уровнях реагирования, но и на когнитивном уровне.

АТС получили широкое распространение в инженерной практике, где ошибки при обучении на реальных объектах могут привести к нежелательным последствиям, а их устранение — к значительным финансовым затратам [16], и позволяют осуществить быструю трансформацию теоретических знаний в практические навыки работы [17, 19]. Имеются объективные данные о снижении аварийности на производстве за счет использования АТС [20], снижении времени подготовки оперативного персонала [21], общей интенсификации учебного процесса [22, 23]. Технология имитирования при обучении в реальном масштабе времени является экономически выгодным средством при проектировании установок высокой сложности [24]. Так, например, подобную эффективность демонстрируют компании нефтеперерабатывающего сектора [25]. По оценке исследования, свыше 90 % работников нефтегазовой отрасли оценивают использование АТС как эффективное средство подготовки персонала [26].

Использование средств виртуальной реальности

Новым уровнем реализации АТС является использование технологий виртуальной реальности (VR), представляющей "синтетический, пространственный (обычно трехмерный) мир, который воспринимается от первого лица в режиме реального времени" [27]. VR обладает огромным потенциалом для обучения и проведения всевозможных тренингов. Основное преимущество — это воссоздание объектов реальности, процессов или явлений в рамках симулированной, на основе компьютерной графики, среды.

Впервые технология VR в промышленных целях была использована автомобильной промышленностью. Так, использование VR позволило убрать из технологии производства стадии по созданию реального макета автомобиля, аэродинамические эксперименты, создание салона с учетом эргономики. При использовании VR для компоновки узлов и агрегатов прототипа 800%-ной эффективности по отношению к затратам удалось достичь компании General Motors. Компании Ford удалось за счет применения VR вдвое снизить сроки разработки дизайна автомобиля [28].

Активное внедрение VR свидетельствует об объективном росте интереса к этой технологии. Очевидно, что доля систем с 3D-визуализацией и использованием VR существенно вырастет за счет тренажеров с традиционным интерфейсом [29]. Это обусловлено, с одной стороны, падением цен на устройства VR [30], а с другой стороны, тем, что VR перекрывает существенные недостатки тренажеров с тра-

диционным двухмерным интерфейсом, как например, невозможность обеспечения высокой степени приближенности к реальной обстановке моделируемого объекта или процесса [31].

Главное преимущество ВР заключается в том, что все действия в ней могут быть связаны с действиями в реальном мире, при этом сама среда совершенно безопасна в эксплуатации и жизни человека [32]. Это позволяет делать обучение, оценку рисков и структуру обеспечения безопасности более эффективными и реалистичными в сравнении с тренажерами, при этом обеспечив полную безопасность обучаемому и оборудованию [33].

Основной задачей тренажеров с применением ВР является формирование КМПД, имеющей большую адекватность и достоверность в сравнении с традиционными тренажерами. Для этого необходимо обеспечение следующих условий [34]:

1) *правдоподобие* (ВР должна обеспечивать правдоподобное поведение человека и легкое погружение в сценарий среды);

2) *обратная связь* (обратная связь должна влиять на пользовательские действия и содержать реальную динамику состояния среды);

3) *интерпретируемость* — пользователь должен понимать обратную связь в различных ситуациях, включая его когнитивные особенности и эмоциональное состояние на основе вербальных и невербальных событий в среде.

Комплексная реализация данных принципов обеспечила положительный практический эффект применения АТР на базе ВР в медицине [35–38], промышленности [39, 40], военном деле [41], образовании [42], коммуникации [43] и др.

При формировании КМПД или отдельных ее элементов в условиях использования средств ВР, в свою очередь, могут быть выделены следующие основные аспекты.

Психофизическое моделирование, обеспечивающее отработку психофизических навыков как эффективной формы в части преодоления производственных фобий, выработки быстроты реакций, выполнения сложных задач в соответствующих условиях и т. д. Данные характеристики обучаемого позволяют изучить специфику поведения человека в различных сгенерированных виртуальных средах (ВС), что можно использовать для преобразования в реальные практические навыки.

Мониторинг психологического, эмоционального и физического состояния оператора в той или иной симулированной ситуации позволяет получить опосредованную оценку профессиональной пригодности человека для соответствующего вида деятельности [44].

Вместе с тем использование средств ВР позволяет создавать симулированные сценарии для формирования и развития определенных профессионально важных качеств (ПВК) оперативного персонала, характерных для данного вида профессиональной деятельности. Так, например, отработ-

ка сценариев возгорания на объекте управления позволяет тренировать эмоциональную устойчивость человека [45]. Имеются данные о тренировке с использованием ВР психологической устойчивости [46], преодолении психологической напряженности в рамках выполнения сложных манипуляций [47, 50], повышении мотивации и исполнительской дисциплины [48, 49].

Отдельно стоит заострить внимание на активацию психомоторных функций человека. Так, на сегодняшний день ВР активно используется для реабилитации людей, перенесших инсульт [36]. Применительно к тренажерам, это точная отработка сложных манипуляций и выработка быстроты реакций, а также конечный контроль выполнения той или иной задачи [39, 47, 51].

На этом психофизиологический потенциал технологии ВР не исчерпан, ведутся активные работы по внедрению более естественных для человека техник манипуляций и взаимодействий в ВС. Таким примером являются так называемые компьютерные интерфейсы на основе мозговой активности (BCI, brain—computer interface). При этом уже в ближайшей перспективе BCI может заменить тактильные устройства ввода или выступать в качестве обратной связи в ВР [51, 52].

Когнитивное моделирование обеспечивает формирование когнитивных моделей восприятия. Использование трехмерной среды считается наиболее подходящей средой для имитации рабочего процесса [40], может способствовать одновременному увеличению объема и качества усвоения текущего материала, помогает исследовать такую реальность, которая в иных условиях — в силу ее неспособности во времени, пространстве, масштабе и т. п. или по причине безопасности — не может быть исследована [48]. Экспериментально доказано, что обучение задачам, которые выполняются в пространстве, более эффективно выполнять в ВР, по сравнению с вербальным обучением или обучением на обычном компьютере [53, 54].

Показано, что ВС более глубоко воздействует на когнитивные характеристики человека, такие как, например, долговременная память [55] или пространственное мышление [56], что позволяет осуществлять их тренировку.

Дистанционное моделирование позволяет использовать технологии ВР в качестве коммуникационной среды, не привязанной к расстоянию или конкретному местоположению, за счет взаимодействия через виртуальные объекты. Имеются доказательства положительного результата использования средств ВР в целях повышения социальной активности испытуемых [43], развития компетенции в переговорах [57].

Работа в неограниченном пространстве в ВС позволяет снять ограничения у обучающихся разных культур [42], а также обеспечить их адаптацию к различным социокультурным средам [55]. Кроме того, использование технологий распространения

Систематизация тренажеров ВР по типам обучения

Тип моделирования	Целевое предназначение	Мотивация необходимости	Примеры имитации рабочей деятельности
Психофизиологическое	Преодоление фобий, тренировка эмоциональной устойчивости, психических характеристик	Значительная психологическая сложность в выполнении задачи, в рамках аварийной или нештатной ситуации	Высокая напряженность труда. Аварии или нештатные ситуации на промышленных объектах, имитация пожара или другой опасной для жизни среды и т. д.
	Выработка исполнительской дисциплины	Необходимость выполнения четких указаний или предписаний, отработка командных навыков. Выработки ответственности в работе	Командные или исполнительские навыки в армии. Четкие предписания или порядок действий на предприятиях, где это необходимо
	Психомоторные функции	Важность и точность движений в рамках рабочего процесса	Эксплуатация сложной техники, сложные пульты управления и т. д.
Когнитивное	Тренировка пространственного мышления	Производственная необходимость знания взаиморасположения различных объектов	Инженерное проектирование сложной техники, хирургические операции и т. д.
	Тренировка памяти	Запоминание большого количества информации о технологическом процессе или регламента работы	Работа на промышленных предприятиях, эксплуатация сложной техники и т. д.
	Выполнение профессиональных задач	Точность, внимание, порядок выполнения определенной задачи или манипуляции прибором	Эксплуатация производственного оборудования, манипуляции техническими приборами и т. д.
Дистанционное	Совместное обучение	Коммуникационные практики, снятие этнокультурных барьеров	Территориальная распределенность сотрудников, удаленная демонстрация элементов виртуальности
Предметное	Реалистичные трехмерные модели	Необходимость в реалистичных, детализированных моделях или копиях реальных объектов для работы с ними	Проектирование инженерных объектов, медицинские манипуляции, изучение и работы со сложными объектами и т. д.

через сеть Интернет трехмерных объектов [58], приближенных к реальным, позволяет расширить возможности использования средств ВР для маломобильных групп населения, группового взаимодействия через виртуальные объекты, совместного использования ВР.

Предметное моделирование позволяет за счет качественной виртуализации обеспечить максимально возможное правдоподобие при имитировании работы с объектом управления, что является основой профессиональной подготовки. В этих условиях обучаемый не только изучает назначение и структуру объекта, но и воздействует на их элементы управления и анализирует реакцию объекта на внешние управляющие воздействия, формируя модель объекта управления и профессиональной среды деятельности.

Наибольшее распространение такие модели получили в медицине при визуализации хирургических процедур обучения [35], исследовании анатомических структур [38], формировании частных индивидуальных анатомических моделей [59], моделей зубопротезирования [32].

Предметное моделирование активно используется для моделирования чрезвычайных ситуаций на реальном [60] или проектируемом объекте [61].

Таким образом, очевидно, что классификация и дифференциация тренажеров на базе ВР достаточно условна и зависит, прежде всего, от их функцио-

нальной нагрузки и задач, которые выполняют обучающиеся (см. таблицу).

Представленная систематизация также достаточно условна — она основывается на типах моделирования профессиональной деятельности и позволяет рассмотреть отдельные аспекты формирования КМПД.

Отдельный интерес представляет использование дополненной реальности (ДР), которая сегодня активно используется наряду с ВР и представляет реальность, дополненную синтетическими объектами или информацией. ДР находит применение там, где нет необходимости в полной замене среды в силу важности наличия реальных объектов. В целях имитационного обучения ДР может визуально расширять ландшафт местности виртуальными моделями зданий, добавлять текстовые подсказки над предметами, соотносить виртуальные объекты с реальными (анатомические структуры) и т. д. [62]. Имеются данные об эффективности ДР в части имитационного обучения [31].

Проблемы использования средств виртуальной и привнесенной реальности при подготовке оперативного персонала

В то же время необходимо отметить, что ВР имеет ряд недостатков, которые создают проблемы при ее использовании в части подготовки оперативного персонала ЭС. Рассмотрим наиболее рас-

пространенные ограничения: *технические, программные и имитационные*.

На сегодняшний день основными техническими недостатками являются задержки передачи сигналов с сенсоров и гироскопов устройств ВР. Таким образом, несинхронизированное движение с рендерингом трехмерного изображения не способно обеспечить эффективное иммерсивное (полное) погружение в ВС. Для устранения подобных проблем разрабатываются различные решения, как например, Timewarp. Основная идея заключается в вероятностном предсказании последующего движения, на основе которого выполняется предварительный рендеринг сцены, отображаемой на дисплее шлема ВР [63].

Другим ограничением является то, что современные стационарные шлемы ВР подключаются к высокопроизводительным компьютерам посредством проводных соединений. Соответственно, при проектировании АТС необходимо учитывать эту характерную особенность, которая может создавать трудности при разработке сценария имитационного обучения. Использование альтернативного решения в виде CAVE-систем не всегда представляется возможным из-за дороговизны оборудования и сложности в эксплуатации [64].

Существуют программные ограничения, связанные с особенностью отображения трехмерного контента. Двухмерные приложения используют WIMP (Windows, Icon, Mouse, Point) парадигму проектирования программных интерфейсов, которую невозможно перенести в трехмерные приложения ВР. Отсутствуют унифицированные техники взаимодействия в ВР из-за большого числа устройств ввода [65]. Кроме того, проектирование реалистичных трехмерных моделей экономически затратно [66].

Отдельно стоит подчеркнуть возникающие проблемы при разработке имитационного сценария в рамках проектирования АТС. Данный сценарий должен воспроизводить не только реалистичные ситуации для эффективного обучения персонала, но и нивелировать технические и программные ограничения. В свою очередь, детальная разработка сценария не всегда представляется возможной, так как невозможно точно предсказать поведение системы в различных чрезвычайных ситуациях.

Помимо этого ВС не должна создавать дисбаланс повседневных реалий с имитационной моделью. Так, известно явление когнитивного диссонанса, которое возникает в сознании человека из-за несоответствия прошлого опыта и настоящей ситуации или логического несоответствия виртуальной реальности и физического объекта (в терминологии Л. Фестингера) [67].

Отмечается, что в условиях ВР обучающиеся демонстрируют асоциальное поведение, склонны к необоснованным рискам и деструктивным действиям [68]. Отдельную сложность представляет отра-

ботка командных действий в виртуальной среде [69]. Обнаружена неспособность индивидуумов, обучающихся в виртуальной среде, к командным действиям в условиях физической реальности [70].

Заключение

Таким образом, становится очевидным, что использование тренажерных систем, включая средства ВР, сегодня достаточно обоснованно позволяет заметно снизить стоимость подготовки операторов, сроки обучения, снизить вероятность порчи дорогостоящего оборудования.

В то же время следует отметить, что в условиях ВР эвристическая деятельность индивидуума заметно отличается от деятельности в условиях реального физического мира. Также отличаются стилевые особенности обучения, связанные с различиями в динамике выработки и утомляемости в условиях физического и виртуального мира.

Различны когнитивные процессы в условиях физической и виртуальной реальности, что обусловлено, прежде всего, формой и содержанием самоопределения индивидуума в пространственно-временном континууме (физическом или виртуальном) и, соответственно, различно и формирование КМПД.

Учитывая тот факт, что освоение сложных видов деятельности предполагает формирование определенных профессиональных навыков, подразумеваемая цикличность повторения действий, можно констатировать, что ВР может сформировать иную программу управления объектом, отличающуюся от программы, сформированной в условиях физической реальности.

В связи с этим выделены следующие ситуации, в которых сегодня использование ВР нецелесообразно:

- командное и групповое обучение;
- ситуации, связанные с риском возникновения когнитивного диссонанса;
- ситуации, связанные с взаимодействием оператора через ВР с реальными людьми.

При этом в настоящее время большинство исследований когнитивных механизмов с использованием ВР сводятся к изучению когнитивных особенностей при восприятии художественного текста, изучения иностранных языков, языковых аспектов коммуникации.

В связи с этим проблема оценки соответствия когнитивных стилей в физическом и виртуальном мире приобретает особую актуальность.

Отдельный интерес представляют способы организации и построения систем поддержки сенсорно-моторной и когнитивной деятельности обучающихся при освоении сложных видов деятельности в виртуальной и дополненной реальности.

Список литературы

1. **Охріменко О. О.** Ризик-менеджмент інвестиційних проєктів енергетичних підприємств: дис. канд. екон. наук. Киев: НТУУ "КПІ", 2016.
2. **Hopp W. J., Oyey M. P.** Agile workforce evaluation: a framework for cross-training and coordination // *Iie Transactions*. 2004. Vol. 36, N. 10. P. 919—940.
3. **Петухов И. В., Стешина Л. А.** Эргатические системы: технологическая безопасность. Воронеж: Науч. кн., 2012. 280 с.
4. **Boring R. L., Gertman D. I., Le Blanc K.** Human reliability analysis for computerized procedures // *Proceedings of the Human factors and ergonomics society 55th annual meeting*. Las Vegas, 2011. P. 1720—1724.
5. **Woods D. D., Hollnagel E.** Joint cognitive systems: Patterns in cognitive systems engineering. Boca Raton: CRC Press, 2006. 232 p.
6. **Bendell T. A.** Classification System for Reliability Models // *IEEE Transactions on reliability*. 1984. Vol. R-33, N. 2. P. 160—164.
7. **Liu Y., Feyen R., Tsimhoni O.** Queuing Network-Model Human Processor (QN-MHP): A Computational Architecture for Multitask Performance in Human-Machine Systems // *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*. March 2006. Vol. 13, N. 1. P. 37—70.
8. **Schumacher E. H.** Concurrent response-selection processes in dual-task performance: Evidence for adaptive executive control of task scheduling // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 1999. Vol. 25. P. 791—814.
9. **Karlin L., Kestenbaum R.** Effects of number of alternatives on the psychological refractory period // *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1968. Vol. 20. P. 167—178.
10. **Sommer W., Leuthold H., Schubert T.** Multiple bottlenecks in information processing? An electrophysiological examination // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2001. Vol. 8. P. 81—88.
11. **Jiang Y. H., Saxe R., Kanwisher N.** Functional magnetic resonance imaging provides new constraints on theories of the psychological refractory period // *Psychological Science*. 2004. Vol. 15. P. 390—396.
12. **Ruthruff E., Johnston J. C., Van Selst M.** Why practice reduces dual-task interference // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. 2001. Vol. 27. P. 3—21.
13. **Oberauer K., Kliegl R.** Simultaneous cognitive operations in working memory after dual-task practice // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. Vol. 30. 2004. P. 689—707.
14. **Дружиков С. А.** Концептуальная модель профессиональной деятельности как психологическая детерминанта профессионализма // *Психологические исследования*. 2013. Т. 6, № 29. С. 4. URL: <http://psystudy.ru> (дата обращения: 15.05.2017).
15. **Сергеев С. Ф.** Инженерная психология и эргономика. М.: НИИ школьных технологий, 2008. С. 136.
16. **Трухин А. В.** Анализ существующих в РФ тренажерно-обучающих систем // Открытое и дистанционное образование. Ассоциация образовательных и научных учреждений "Сибирский открытый университет" (Томск). 2008. № 1. С. 32—39.
17. **Копытенкова О. И., Алиев О. Т.** Анализ современных автоматизированных тренажерно-обучающих комплексов для подготовки локомотивных бригад // *Общетехнические задачи и пути их решения*. 2014. С. 143—150.
18. **Барашкин Р. Л.** и др. Компьютерный тренажерный комплекс процессов подготовки нефти и газа к транспорту // *Территория нефтегаз*. 2015. № 5. С. 27—31.
19. **Strayer D. L., Drews F. A.** Simulator Training Improves Driver Efficiency: Transfer From The Simulator To The Real World / D. L. Strayer, // *Proceedings of the Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design. Simulator Training Improves Driver Efficiency: Transfer From The Simulator To The Real World*. P. 190—193.
20. **Дозорцев В. М.** и др. Компьютерный тренинг операторов: непреходящая актуальность, новые возможности, человеческий фактор // *Автоматизация в промышленности*. Июль 2015. URL: <http://www.avtprom.ru> (дата обращения: 15.05.2017).
21. **Дозорцев В. М.** Насколько полезны компьютерные тренажеры для обучения операторов? Голос пользователей // *Автоматизация в промышленности*. Июль 2016. URL: <http://www.avtprom.ru> (дата обращения: 15.05.2017).
22. **Беспалов Б. И.** Психодиагностика профессионально важных качеств и профотбор диспетчеров пожарной службы "01": Психология // *Вестн. Моск. ун-та*. 1998. № 3. С. 79—94.
23. **Рабенко В. С., Мошкарин А. В., Битеряков В. Ф.** Методические рекомендации к расчету экономической эффективности от внедрения тренажеров для подготовки оперативного персонала тепловых электрических станций // *Энергосбережение и водоподготовка*. 2004. № 2. С. 30—36.
24. **Перкинс Т.** Техника моделирования в обучении операторов // *Бюллетень МАГАТЭ*. 1985. С. 21—27.
25. **Заец Р. М., Белкин А. К., Моссуммадзе Э. М.** Использование современных интерактивных учебных программных комплексов в повышении квалификации обслуживающего персонала газоперерабатывающих, химических и нефтехимических производств // *Башкирский химический журнал*. 2007. Т. 14, № 3. С. 106.
26. **Nordstien S. R., Nordhus H.** Economic benefits of training simulators // *Economic benefits of training simulators*. 2012. P. 61—64.
27. **Bowman D.** 3D User Interfaces. Theory And Practice // *3D User Interfaces. Theory And Practice*. Boston, MA, 2004. P. 7.
28. **Щадилов А. Е.** Виртуальная реальность и 3-D визуализация с применением современных информационных технологий // *Информационные технологии в экономике, управлении и образовании: Сборник научных трудов / Под ред. проф. В. В. Трофимова*. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ. 2010. С. 89.
29. **Дозорцев В. М.** Мировой рынок компьютерных тренажеров для обучения операторов: тенденции, вызовы, прогнозы // *Автоматизация в промышленности*. 2016. С. 38.
30. **Bellini H.** Virtual & Augmented Reality // *Goldman Sachs*. 2016. P. 8.
31. **Satyandra K.** et al. Training in Virtual Environments A Safe, Cost-Effective, and Engaging Approach to Training // *Training in Virtual Environments A Safe, Cost-Effective, and Engaging Approach to Training: CECD/ETC Series*. University of Maryland, College Park, Maryland, 2008. P. 1.
32. **Haddawy P.** Development of a Dental Skills Training Simulator Using Virtual Reality and Haptic Device // *MultiScience — XXX. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference*. University of Miskolc, Hungary, 2016.
33. **Казанцев В. А., Ричмонд П.** Новые направления развития тренажерных комплексов для обучения операторов промышленных установок // *Автоматизация в промышленности*. 2011. С. 13—17.
34. **Kenny P., Hartholt A., Gratch J., Swartout W., Traum D., Marsella S., Piepol D.** Building Interactive Virtual Humans for Training Environments // *Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC)*. 2007. P. 4.
35. **Schmid L., Glassel A.** Therapists Perspective on Virtual Reality Training in Patients after Stroke: A Qualitative Study Reporting Focus Group Results from Three Hospitals. 2016. P. 1—13.
36. **Badia S.** et al. Using a Hybrid Brain Computer Interface and Virtual Reality System to Monitor and Promote Cortical Reorganization through Motor Activity and Motor Imagery Training // *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2013. Vol. 2, N. 21. P. 174—181.
37. **Riva G.** et al. Applications of virtual environments in medicine // *Methods of information in medicine*. 2003. Vol. 42, N. 5. P. 524—534.
38. **Колсанов А.** и др. Моделирование и визуализация сложных анатомических структур // *Моделирование и визуализация сложных анатомических структур в системе виртуальной реальности для создания обучающих медицинских тренажеров на базе АПК "виртуальный хирург"*. 2013. Т. 15, № 4. С. 242—247.
39. **Михайлюк М., Торгашев М.** Моделирование и визуализация 3D виртуальных пультов управления в тренажерных системах // *Материалы XXIV Международной конференции по компьютерной графике и зрению*, 30 сентября — 3 октября 2014. Ростов-на-Дону, 2014. С. 27—29.
40. **Хафизов Ф. Ш., Кудрявцев А. А., Шевченко Д. И.** Интегрированные обучающие системы для специалистов трубопроводного транспорта нефти // *Нефтегазовое дело*. 2011. № 3. С. 356—370.

41. **Rizzo A.** et al. Human emotional state and its relevance for military VR training // The Proceedings of the 11th International Conference on Human Computer Interaction. 2005. P. 777–780.
42. **Pantelidis V. S.** Reasons to use virtual reality in education and training courses and a model to determine when to use virtual reality // Themes in Science and Technology Education. 2009. Vol. 2. P. 59–70.
43. **Kandalafit M.** et al. Virtual Reality Social Cognition Training for Young Adults with High-Functioning Autism. Springer, 2012.
44. **Понов Д. И.** Использование технологий виртуальной реальности для определения профессиональной пригодности и подготовки кадров опасных профессий // Виртуальная и дополненная реальность-2016: состояние и перспективы. Москва, 2016. С. 33–36.
45. **Louka M. N., Balducci C.** Virtual Reality Tools for Emergency Operation Support and Training // Proc. of TIEMS (The International Emergency Management Society), Oslo, 2001.
46. **Satyandra K.** et al. Training in Virtual Environments A Safe, Cost-Effective, and Engaging Approach to Training // Training in Virtual Environments A Safe, Cost-Effective, and Engaging Approach to Training: CECD/ETC Series. University of Maryland, College Park, Maryland, 2008. P. 72.
47. **Everson T., McDermott C.** Astronaut training using Virtual Reality in a Neutrally Buoyant Environment // School of Engineering, Australia DesTech Conference Proceedings The International Conference on Design and Technology. 2017. P. 319–326.
48. **Зинченко Ю. П.** и др. Технологии виртуальной реальности: методологические аспекты, достижения и перспективы. 2010. Т. 2 // Национальный психологический журнал. № 4. С. 64–71.
49. **Renter H.** Virtual Reality in the Military: Present and Future // 3rd Twente Student Conference on IT. University of Twente, Faculty of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science, 2005.
50. **Konieczny J., Meyer G., Shimizu C., Heckman J.** VR Spray Painting for Training and Design // VR spray painting for training and design. VRST (2008). 2008.
51. **Lotte F.** et al. Combining BCI with Virtual Reality // Towards New Applications and Improved BCI. 2012. P. 1–24.
52. **S. B. i Badia** et al. Using a Hybrid Brain Computer Interface and Virtual Reality System to Monitor and Promote Cortical Reorganization through Motor Activity and Motor Imagery Training // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2013. Vol. 2, N. 21. P. 174–181.
53. **Gonzalez-Franco M., Rodrigo P.** Immersive Mixed reality for Manufacturing Training: Frontiers in Robotics and AI // Frontiers in Robotics and AI. 2017. Vol. 4, N. 3.
54. **Mitrovic A.** et al. A Virtual Reality Environment for Prospective Memory Training // UMAP Workshops. 2014. P. 93–98.
55. **McComas J.** Cyber Psychology & Behavior // Children's Transfer of Spatial Learning from Virtual Reality to Real Environments. 1998. Vol. 1. P. 121–127.
56. **Broekens J.** et al. Virtual reality negotiation training increases negotiation knowledge and skill // International Conference on Intelligent Virtual Agents, Springer Berlin Heidelberg, 2012. P. 218–230.
57. **Koltko-Rivera M. E.** The potential societal impact of virtual reality // Advances in virtual environments technology: Musings on design, evaluation, and applications. 2005. Vol. 9.
58. **Guardia L., Scaduto M. L.** Sharing on Web 3D Models of Ancient Theatres // A Methodological Workflow. 2016. P. 483–490.
59. **Torner J., Gyme S., Alpite F.** Virtual reality application applied to biomedical models reconstructed from CT scanning // Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision. 2016. Vol. 24. P. 21–22.
60. **Rossmann J.** et al. Simulation in the woods: from remote sensing based data acquisition and processing to various simulation applications // Winter Simulation Conference. 2011. P. 984–996.
61. **Горбунова А. А.** Безопасное моделирование чрезвычайных ситуаций в реальной среде посредством дополненной реальности // Виртуальная и дополненная реальность-2016: состояние и перспективы. Москва, 2016. С. 110–112.
62. **Lee K.** Augmented Reality in Education and Training // TechTrends. — 2012. Vol. 56, N. 2. P. 13–21.
63. **Гребешков А. А.** Проблемы в использовании VR // Виртуальная и дополненная реальность-2016: состояние и перспективы. Москва, 2016. С. 110–112.
64. **Manjrekar S.** et al. CAVE: An Emerging Immersive Technology — A Review // UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation. IEEE, 2014. P. 130–135.
65. **Bowman D. A.** et al. A Survey of Usability Evaluation in Virtual Environments // Classification and Comparison of Methods. 2002. Vol 11, N. 4. P. 404–424.
66. **URL:** https://thinkmobiles.com/blog/how-much-vr-application-development-cost/?ab=1&utm_expid=136192882-12.myUhRdQqQCKexWTgdQ-2Tg.1&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.ru%2F (дата обращения: 15.05.2017)
67. **Фестингер Л.** Теория когнитивного диссонанса. СПб.: Речь, 2000. С. 19–24.
68. **Yee N., Bailenson J.** The Proteus effect: The effect of transformed self-representation on behavior // Human communication research. 2007. Vol. 33, N. 3. P. 271–290.
69. **Hughes J.** Some 'real' problems of 'virtual' teamwork // Lancaster University. 1998. С. 18–32.
70. **Allard T.** US Navy and Marine Corps requirements and challenges: Virtual environment and component technologies // The Capability of Virtual Reality to Meet Military Requirements, USA, 5–9 December 1997. P. 1–5.

Virtual Reality Simulators: Problems and Perspectives of Using as a Means of Training Operational Personnel

A. E. Glazyrin, glazyrin.andre@mail.ru, **I. V. Petukhov**, PetuhovIV@volgatech.net✉,
L. A. Steshina, SteshinaLA@volgatech.net,
 Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation

Corresponding author: **Petukhov Igor V.**, D. Sc., Professor,
 Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation,
 e-mail: PetuhovIV@volgatech.net

Accepted on August 07, 2017

The article presents an overview of modern approaches to the use of virtual reality tools as a means of training operational staff of ergatic systems. The most important aspect in the preparation of the operator of the ergatic system is the reproduction of the psychophysiological state, as in real professional practice. Virtual reality can have a profound psycho-physiological effect, creating an environment close to the real situation. Separate accents are made on the problems of using virtual and augmented reality tools related to probabilistic cognitive dissonance arising in the management of real physical objects. At the same time, virtual reality allows more effective activation of cognitive processes in imitative learning. The prospects for using virtual

reality tools in vocational training are outlined. An extensive analysis and systematization of the use of virtual reality as simulators has been carried out. Recommendations for the preparation of professionally important qualities of operators of ergatic systems are given depending on the type of simulation training in virtual reality. Particular attention was paid to the purpose of simulators of virtual reality and examples of simulating work activity. The limitations and disadvantages of virtual systems in simulation training are considered. The material presented can open new prospects for further research studies. It seems interesting to those who work in the field of ergatic systems and human-computer interaction.

Keywords: virtual reality, augmented reality, simulator, simulator, human operator, ergatic systems

Acknowledgements: The results of the research were obtained with the support of the grant of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 25.1095.2017/4.6.

For citation:

Glazyrin A. E., Petukhov I. V., Steshina L. A. Virtual Reality Simulators: Problems and Perspectives of Using as a Means of Training Operational Personnel, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2017, vol. 18, no. 11, pp. 767–775.

DOI: 10.17587/mau.18.767-775

References

1. **Ohrimenko O. O.** *Rizik-menedzhment investitsijnih proektiv energetichnih pidpriemstv: dis. kand. ekon. nauk.* (Rizik-management of investment projects in energy-consuming enterprises), Kiev, NTUU "KPI", 2016 (in Ukrainian).
2. **Hopp W. J., Oyen M. P.** Agile workforce evaluation: a framework for cross-training and coordination, 2004, vol. 36, no. 10, pp. 919–940.
3. **Petuhov I. V., Steshina L. A.** *Jergaticheskie sistemy: tehogenaya bezopasnost* (Ergatic systems: technogenic security), Voronezh, Nauch. kn., 2012, 280 p. (in Russian).
4. **Boring R. L., Gertman D. I., Le Blanc K.** Human reliability analysis for computerized procedures, *Proceedings of the Human factors and ergonomics society 55th annual meeting*, Las Vegas, 2011, pp. 1720–1724.
5. **Woods D. D., Hollnagel E.** Joint cognitive systems: Patterns in cognitive systems engineering, Boca Raton, CRC Press, 2006, 232 p.
6. **Bendell T. A.** Classification System for Reliability Models, *IEEE Transactions on reliability*, 1984, vol. R-33, no. 2, pp. 160–164.
7. **Liu Y., Feyen R., Tsimhoni O.** Queuing Network-Model Human Processor (QN-MHP): A Computational Architecture for Multitask Performance in Human-Machine Systems, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, March 2006, vol. 13, no. 1, pp. 37–70.
8. **Schumacher E. H.** Concurrent response-selection processes in dual-task performance: Evidence for adaptive executive control of task scheduling, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1999, vol. 25, pp. 791–814.
9. **Karlin L., Kestenbaum R.** Effects of number of alternatives on the psychological refractory period, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1968, vol. 20, pp. 167–178.
10. **Sommer W., Leuthold H., Schubert T.** Multiple bottlenecks in information processing? An electrophysiological examination, *Psychonomic Bulletin & Review*, 2001, vol. 8, pp. 81–88.
11. **Jiang Y. H., Saxe R., Kanwisher N.** Functional magnetic resonance imaging provides new constraints on theories of the psychological refractory period, *Psychological Science*, 2004, vol. 15, pp. 390–396.
12. **Ruthruff E., Johnston J. C., Van Selst M.** Why practice reduces dual-task interference, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 27, 2001, pp. 3–21.
13. **Oberauer K., Kliegl R.** Simultaneous cognitive operations in working memory after dual-task practice, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2004, vol. 30, pp. 689–707.
14. **Druzhilov S. A.** *Konceptual'naja model' professional'noj dejatel'nosti kak psihologicheskaja determinanta professionalizma* (The conceptual model of professional activity as a psychological determinant of professionalism), *Psihologicheskie issledovanija*, 2013, vol. 6, no 29. p. 4, available at: <http://psystudy.ru> (date of access 15.05.2017) (in Russian).
15. **Sergeev S. F.** *Inzhenernaja psihologija i jergonomika* (Engineering psychology and ergonomics), Moscow, Research Institute of School Technology, 2008, 136 p. (in Russian).
16. **Truhin A. V.** *Analiz sushhestvujushchih v RF trenazherno-obuchajushchih sistem* (Analysis of existing simulator training systems in Russia), *Otkrytoe i distancionnoe obrazovanie. Associacija obrazovatel'nyh i nauchnyh uchrezhdenij "Sibirskij otkrytyj universitet"*, Tomsk, 2008, no. 1, pp. 32–39 (in Russian).
17. **Kopytenkova O. I., Aliev O. T.** *Analiz sovremennyh avtomatizirovannyh trenazherno-obuchajushchih kompleksov dlja podgotovki lokomotivnyh brigad* (Analysis of modern automated training and training complexes for the preparation of locomotive teams), *General technical tasks and ways to solve them*, 2014, pp. 143–150 (in Russian).
18. **Barashkin R. L.** et al. *Komp'yuternyj trenazhernyj kompleks processov podgotovki nefi i gaza k transportu* (Computer simulator complex of the processes of oil and gas preparation for transport), *Territory of oil and gas*, 2015, no. 5, pp. 27–31 (in Russian).
19. **Strayer D. L., Drews F. A.** Simulator Training Improves Driver Efficiency: Transfer From The Simulator To The Real World, *PROCEEDINGS of the Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design. Simulator Training Improves Driver Efficiency: Transfer From The Simulator To The Real World*, pp. 190–193.
20. **Dozorov V. M.** et al. *Komp'yuternyj trening operatorov: neprehodjashhaja aktual'nost', novye vozmozhnosti, chelovecheskij faktor* (Computer training of operators: lasting relevance, new opportunities, human factor), *Avtomatizacija v promyshlennosti*, July, 2015, available at: <http://www.avtprom.ru> (date of access: 15.05.2017) (in Russian).
21. **Dozorov V. M.** *Naskol'ko polezny komp'yuternye trenazhery dlja obuchenija operatorov? Golos pol'zovatelej* (How useful are computer simulators for operator training? Voice of users), *Avtomatizacija v promyshlennosti*, July, 2016, available at: <http://www.avtprom.ru> (date of access: 15.05.2017) (in Russian).
22. **Bespalov B. I.** *Psihodiagnostika professional'no vazhnyh kachestv i profotbor dispetcherov pozharnoj sluzhby "01": Psihologija* (Psychodiagnostics of professionally important qualities and professional selection of dispatchers of the fire service "01": Psychology), *Vestn. Moscow. University*, 1998, no. 3, pp. 79–94 (in Russian).
23. **Rabenko V. S., Moshkarin A. V., Biterjakov V. F.** *Metodicheskie rekomendacii k raschetu jekonomicheskoy jeffektivnosti ot vnedrenija trenazherov dlja podgotovki operativnogo personala teplovyh jelektricheskijh stancij* (Methodical recommendations to the calculation of economic efficiency from the introduction of simulators for the training of operational personnel of thermal power plants), *Jennergoberezenie i vodopodgotovka*, 2004, no. 2, pp. 30–36 (in Russian).
24. **Perkins T.** *Tehnika modelirovanija v obuchenii operatorov: Bjuletin' MAGATJe* (Simulation technique in operator training: IAEA Bulletin), 1985. — pp. 21–27) (in Russian).
25. **Zaev R. M., Belkin A. K., Movsumzade Je. M.** *Ispolzovanie sovremennyh interaktivnyh uchebnyh programnyh kompleksov v povyshenii kvalifikacii obsluzhivajushhego personala gazopererabatyvajushchih, himicheskijh i nefehimicheskijh proizvodstv* (The use of modern interactive educational software in the improvement of qualification of the personnel of gas processing, chemical and petrochemical industries), *Bashkirskij Himicheskij Zhurnal*, 2007, vol. 14, no. 3, pp. 106 (in Russian).
26. **Nordstien S. R., Nordhus H.** Economic benefits of training simulators, *Economic Benefits of Training Simulators*, 2012, pp. 61–64.
27. **Bowman D.** 3D User Interfaces. Theory And Practice, 3D User Interfaces. Theory And Practice, Boston, MA, 2004, pp. 7.
28. **Shhadilov A. E.** *Virtual'naja real'nost' i 3-D vizualizacija s primeneniem sovremennyh informacionnyh tehnologij* (Virtual reality and 3-D visualization using modern information technologies), *Informacionnye Tehnologii v Jekonomike, Upravlenii i Obrazovanii*, SPb., Publishing house of SPbGUJEF, 2010, pp. 89 (in Russian).
29. **Dozorov V. M.** *Mirovoj rynek komp'yuternykh trenazherov dlja obuchenija operatorov: tendencii, vyzovy, prognozy* (World market of computer simulators for operator training: trends, challenges, forecasts), *Avtomatizacija v Promyshlennosti*, 2016, p. 38 (in Russian).

30. **Bellini H.** Virtual & Augmented Reality, Goldman Sachs, 2016, p. 8.
31. **Satyandra K.** et al. Training in Virtual Environments A Safe, Cost-Effective, and Engaging Approach to Training, *Training in Virtual Environments A Safe, Cost-Effective, and Engaging Approach to Training: CECD/ETC Series*, University of Maryland, College Park, Maryland, 2008, p. 1.
32. **Haddawy P.** Development of a Dental Skills Training Simulator Using Virtual Reality and Haptic Device, *MultiScience — XXX. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference*, University of Miskolc, Hungary, 2016.
33. **Kazancev V. A., Richmond P.** *Novye napravlenija razvitiya trenazhernykh kompleksov dlja obuchenija operatorov promyshlennyyh ustanovok* (New Directions for the Development of Training Complexes for the Training of Operators of Industrial Installations), *Avtomatizacija v Promyshlennosti*, 2011, pp. 13–17 (in Russian).
34. **Kenny P., Hartholt A., Gratch J., Swartout W., Traum D., Marsella S., Piepol D.** Building Interactive Virtual Humans for Training Environments, *Intersevice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC)*, 2007, p. 4.
35. **Schmid L., Gassel A.** Therapists Perspective on Virtual Reality Training in Patients after Stroke: A Qualitative Study Reporting Focus Group Results from Three Hospitals, 2016, pp. 1–13.
36. **Badia S.** et al. Using a Hybrid Brain Computer Interface and Virtual Reality System to Monitor and Promote Cortical Reorganization through Motor Activity and Motor Imagery Training, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2013, vol. 2, no. 21, pp. 174–181.
37. **Riva G.** et al. Applications of virtual environments in medicine // Methods of information in medicine, 2003, vol. 42, no. 5, pp. 524–534.
38. **Kolsanov A.** et al. *Modelirovanie i vizualizacija slozhnykh anatomicheskikh struktur* (Modeling and visualization of complex anatomical structures), *Modelirovanie i vizualizacija slozhnykh anatomicheskikh struktur v sisteme virtual'noj real'nosti dlja sozdanija obuchajushchih medicinskih trenazherov na baze APK "virtual'nyj hirurg"*, 2013, vol. 15, no. 4, pp. 242–247 (in Russian).
39. **Mihajljuk M., Torgashev M.** *Modelirovanie i vizualizacija 3D virtual'nykh pul'tov upravlenija v trenazhernykh sistemah* (Simulation and visualization of 3D virtual control panels in simulator systems), *The Proceedings of the 24th International Conference on Computer Graphics and Vision*, September 30 — October 3, 2014, Rostov-on-Don, Russia, 2014, pp. 27–29 (in Russian).
40. **Hafizov F. Sh., Kudrjavcev A. A., Shevchenko D. I.** *Integrirovannye obuchajushhie sistemy dlja specialistov truboprovodnogo transporta nefi* (Integrated training systems for oil pipeline transport specialists), *Neftegazovoe Delo*, 2011, no. 3, pp. 356–370 (in Russian).
41. **Rizzo A.** et al. Human emotional state and its relevance for military VR training, *The Proc. of the 11th International Conference on Human Computer Interaction*, 2005, pp. 777–780.
42. **Pantelidis V. S.** Reasons to use virtual reality in education and training courses and a model to determine when to use virtual reality, *Themes in Science and Technology Education*, 2009, vol. 2, pp. 59–70.
43. **Kandalaff M.** et al. Virtual Reality Social Cognition Training for Young Adults with High-Functioning Autism, Springer, 2012.
44. **Popov D. I.** *Ispol'zovanie tehnologij virtual'noj real'nosti dlja opredelenija professional'noj prigodnosti i podgotovki kadrov opasnykh professij* (The use of virtual reality technologies to determine the professional suitability and training of personnel in hazardous occupations), *Virtual'naja i dopolnennaja real'nost'-2016: sostojanie i perspektivy*, Moscow, 2016, pp. 33–36 (in Russian).
45. **Louka M. N.** et al. Virtual Reality Tools for Emergency Operation Support and Training, *Proceedings of TIEMS (The International Emergency Management Society)*, Oslo, 2001.
46. **Gupta S. K.** et al. Training in Virtual Environments A Safe, Cost-Effective, and Engaging Approach to Training, *Training in Virtual Environments A Safe, Cost-Effective, and Engaging Approach to Training: CECD/ETC Series*, University of Maryland, College Park, Maryland, 2008, p. 72.
47. **Everson T., McDermott C.** Astronaut training using Virtual Reality in a Neutrally Buoyant Environment, *School of Engineering, Australia DesTech Conference Proceedings The International Conference on Design and Technology*, 2017, pp. 319–326.
48. **Zinchenko Ju. P.** et al. *Tehnologii virtual'noj real'nosti: metodologicheskie aspekty, dostizhenija i perspektivy* (Virtual reality technologies: methodological aspects, achievements and prospects), *Nacionalnyj Psichologicheskij Zhurnal*, 2010, vol. 2, no. 4, pp. 64–71 (in Russian).
49. **Rehter H.** Virtual Reality in the Military: Present and Future, *3rd Twente Student Conference on IT*, University of Twente, Faculty of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science, 2005.
50. **Konieczny J., Meyer G., Shimizu C., Heckman J.** VR Spray Painting for Training and Design, *VR spray painting for training and design. VRST (2008)*, 2008.
51. **Lotte F.** et al. Combining BCI with Virtual Reality: Towards New Applications and Improved BCI, 2012, pp. 1–24.
52. **S. B. i Badia** et al. Using a Hybrid Brain Computer Interface and Virtual Reality System to Monitor and Promote Cortical Reorganization through Motor Activity and Motor Imagery Training, *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2013, vol. 2, no. 21, pp. 174–181.
53. **Gonzalez-Franco M., Rodrigo P.** Immersive Mixed reality for Manufacturing Training: Frontiers in Robotics and AI, *Frontiers in Robotics and AI*, 2017, vol. 4, no. 3.
54. **Mitrovic A.** et al. A Virtual Reality Environment for Prospective Memory Training, *UMAP Workshops*, 2014, pp. 93–98.
55. **McComas J.** *CyberPsychology & Behavior, Children's Transfer of Spatial Learning from Virtual Reality to Real Environments*, 1998, vol. 1, pp. 121–127.
56. **Broekens J.** et al. Virtual reality negotiation training increases negotiation knowledge and skill, *International Conference on Intelligent Virtual Agents*, Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 218–230.
57. **Koltko-Rivera M. E.** The potential societal impact of virtual reality, *Advances in virtual environments technology: Musings on design, evaluation, and applications*, 2005, vol. 9.
58. **Guardia L., Scaduto M. L.** Sharing on Web 3D Models of Ancient Theatres, *A Methodological Workflow*, 2016, pp. 483–490.
59. **Torner J., Gymez S., Alpiste F.** Virtual reality application applied to biomedical models reconstructed from CT scanning, *Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision*, 2016, vol. 24, pp. 21–22.
60. **Rossmann J.** et al. Simulation in the woods: from remote sensing based data acquisition and processing to various simulation applications, *Winter Simulation Conference*, 2011, pp. 984–996.
61. **Gorbunova A. A.** *Bezopasnoe modelirovanie chrezvychajnykh situacij v real'noj srede posredstvom dopolnennoj real'nosti* (Safe modeling of emergencies in a real environment through augmented reality), *Virtual'naja i dopolnennaja real'nost'-2016: sostojanie i perspektivy*, Moscow, 2016, pp. 110–112 (in Russian).
62. **Lee K.** Augmented Reality in Education and Training, *TechTrends*, 2012, vol. 56, no. 2, pp. 13–21.
63. **Grebeshkov A. A.** *Problemy v ispol'zovanii VR* (Problems in using VR), *Virtual'naja i dopolnennaja real'nost'-2016: sostojanie i perspektivy*, Moscow, 2016, pp. 110–112 (in Russian).
64. **Manjrekar S.** et al. CAVE: An Emerging Immersive Technology — A Review, *UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, IEEE, 2014, pp. 130–135.
65. **Bowman D. A.** et al. A Survey of Usability Evaluation in Virtual Environments, *Classification and Comparison of Methods*, 2002, vol. 11, no. 4, pp. 404–424.
66. **Available at:** https://thinkmobiles.com/blog/how-much-vr-application-development-cost/?ab=1&utm_expid=136192882-12.myUhRdQqQCkexWTgdQ-2Tg.1&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.ru%2F (date of access: 15.05.2017)
67. **Festinger L.** *Teorija kognitivnogo dissonansa* (Theory of cognitive dissonance), SPb., Rech', 2000, pp. 19–24 (in Russian).
68. **Yee N., Bailenson J.** The Proteus effect: The effect of transformed self-representation on behavior, *Human communication research*, 2007, vol. 33, no. 3, pp. 271–290.
69. **Hughes J.** et al. Some 'real' problems of 'virtual' teamwork, Lancaster University, 1998, pp. 18–32.
70. **Allard T.** US Navy and Marine Corps requirements and challenges: Virtual environment and component technologies // The Capability of Virtual Reality to Meet Military Requirements, USA, 5–9 December 1997. P. 1–5.