



УДК 377.2+377.44+001.891.57+159.91

Научная статья / **Research Full Article**DOI: [10.15293/2658-6762.2505.06](https://doi.org/10.15293/2658-6762.2505.06)Язык статьи: русский / **Article language: Russian**

Специфика когнитивных процессов восприятия в образовании: выявление взаимосвязи между точностью решения задачи простого зрительно-моторного слежения и технологией предъявления информации

Л. А. Стешина¹, И. С. Стешин¹, Д. Велев², П. В. Златева², И. В. Петухов¹¹ Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия² Университет национальной и мировой экономики, София, Болгария

Проблема и цель. В статье представлены результаты исследования по проблеме восприятия перцептивно простой зрительной информации в двухмерном и трехмерном пространстве. **Цель** статьи – выявление взаимосвязи между точностью решения задачи простого зрительно-моторного слежения за подвижным объектом и технологией предъявления информации с использованием шлема виртуальной реальности и на классическом электронном дисплее.

Методология. Применялись теоретические методы, включающие методы системного анализа; эмпирические методы, в том числе экспериментальные исследования; компьютерные методы, в частности вычислительная статистика и кластерный анализ.

Результаты. Основные результаты заключаются в обобщении опыта использования технических средств виртуальной реальности для обучения и профессиональной подготовки операторов различных отраслей. Отмечается важность обеспечения адекватности восприятия виртуального объекта с учетом физиологических особенностей зрительного восприятия испытуемого. Авторами представлены рекомендации по использованию виртуальных сред и отображения информации на электронных дисплеях в различных ситуациях операторской деятельности.

Заключение. В заключении делается вывод, что использование технологии виртуальной реальности не приводит к статистически значимому изменению точности при решении простых зрительно-моторных задач в сравнении с технологией предъявления информации на экране стандартного видеомонитора. Таким образом, повсеместная замена средств отображения информации с электронных дисплеев на средства отображения виртуального контента

Финансирование проекта: Исследование выполнено в рамках реализации гранта Российского научного фонда № 23-19-00568 «Методы и интеллектуальная система поддержки динамической устойчивости операторов эргатических систем», <https://rscf.ru/project/23-19-00568/>

Библиографическая ссылка: Стешина Л. А., Стешин И. С., Велев Д., Златева П. В., Петухов И. В. Специфика когнитивных процессов восприятия в образовании: выявление взаимосвязи между точностью решения задачи простого зрительно-моторного слежения и технологией предъявления информации // Science for Education Today. – 2025. – Т. 15, № 5. – С. 116–138. DOI: <http://dx.doi.org/10.15293/2658-6762.2505.06>

✉ Автор для корреспонденции: Игорь Валерьевич Петухов, Petuhoviv@volgatech.net

© Л. А. Стешина, И. С. Стешин, Д. Велев, П. В. Златева, И. В. Петухов, 2025



для решения простых зрительно-моторных задач в процессе обучения операторов удаленного оборудования нецелесообразна.

Ключевые слова: профессиональное обучение; эффективность операторской деятельности; точность зрительно-моторного слежения; реакция на движущийся объект; реакция на приближающийся объект; иммерсивность; технологии виртуальной реальности; обучающие тренажеры.

Постановка проблемы

Современное развитие технологий отображения информации, в частности технологий виртуальной реальности, значительно меняет сферу образования, расширяя уровень вовлечения обучающихся в образовательный процесс. В литературе описаны многочисленные кейсы, которые демонстрируют интенсификацию образовательного процесса за счет иммерсивности, возможности погружения в образовательный контент, причем положительный эффект демонстрируют обучающиеся программ совершенно различного уровня – от детского сада до высшего образования.

Технологии виртуальной реальности в настоящее время широко применяются в профессиональном обучении: в тренажерах авиационной техники [1; 2], на железнодорожном транспорте [3], морских судах [4], для обучения управлению сложными технологическими агрегатами и оборудованием¹ [5]. Приводятся данные об успешном обучении в виртуальных обучающих средах и трансфере навыков, полученных и развитых в них, на управление реальными технологическими агрегатами.

Так, в исследовании Р. Dymora, В. Kowal, М. Mazurek², в частности, установлено, что использование тренажеров с вирту-

альными обучающими средами, симулирующими полет для обучения пилотов самолета, снизило количество ошибок неопытных пилотов в среднем на 21–37 % по сравнению с контрольной группой, где обучение с использованием виртуальных сред не применялось. В работе G. Ryan и V. Clinton-Lisell [6] проводится опрос респондентов – обучающихся пилотов самолетов. Исследование показало, что большинство опрошенных считает, что симуляторы с виртуальными обучающими средами могут быть приемлемой технологией обучения для использования в учебной программе летной подготовки [6]. В статье J. F. Lapointe и J. M. Robert [7] приведены результаты двух-летнего эксперимента по обучению операторов лесозаготовительной техники. Результаты показывают, что добавление 25 часов практического обучения на симуляторе лесозаготовительной машины с использованием виртуальной обучающей среды увеличивает объем заготовленной древесины на 23 % и снижает на 26 % расходы на ремонт и техническое обслуживание в течение первого месяца работы оператора на реальном технологическом оборудовании [7].

Другой важнейшей областью использования виртуальных технологий является обучение по их применению в организации

¹ Steshina L., Petukhov I., Tanryerdiev I., Kurasov P., Glazyrin A. Training of high-skilled workers using exercisers and simulators // Proceedings - 2019 3rd European Conference on Electrical Engineering and Computer Science (EECS). – IEEE, 2019. – P. 134-139. DOI: <https://doi.org/10.1109/EECS49779.2019.00036>

² Dymora P., Kowal B., Mazurek M., Romana S. The effects of Virtual Reality technology application in the aircraft pilot training process // IOP conference series: materials science and engineering. – IOP Publishing, 2021. – Vol. 1024 (1). – P. 012099. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1024/1/012099>



удаленного управления технологическими объектами в режиме реального времени – управления мобильными роботами, манипуляторами, беспилотными летательными аппаратами³ [8].

Следует отметить, что виртуальные среды, используемые непосредственно в процессе удаленного управления, имеют иную, по сравнению с обучающими средами, специфику. Так, согласно современным представлениям⁴, континуум виртуальности представляет собой шкалу, простирающуюся от полностью реальной среды до полностью виртуальной среды, между которыми находится смешанная реальность. В результате человек-оператор, погруженный в такую виртуальную среду удаленного управления, испытывает сложности, связанные с когнитивными процессами восприятия информации. Эти сложности вызваны тем, что эта среда для человека оказывается «смешанной», т. е. виртуальной в контексте технических средств и его собственных ощущений и реальной – физическим миром в контексте реальности происходящих процессов и ограничений на возможности манипулирования параметрами этой среды. Процессы восприятия информации человеком-оператором, выработки и реализации решений

в таких смешанных средах требуют дополнительных исследований.

В то же время имеются данные и о нейтральном или негативном опыте использования технологий виртуальной реальности. Так, негативные эффекты виртуальной реальности выражаются в более сильной эмоциональной окраске негативного опыта и эмоций, испытанных в виртуальном мире [9], головокружении, тошноте и дезориентации в пространстве [10], иных проявлениях киберболезни⁵ [11].

Особо в работе М. Fuchs-Brantl⁶ отмечается важность осторожного и безопасного использования технологий виртуальной реальности детьми, так как именно в детском возрасте способность различать физическую и виртуальную реальность еще не полностью развита.

Таким образом, можно констатировать, что известны как успешные кейсы использования технологии виртуальной реальности, так и нейтральные и даже негативные случаи. При этом часть позитивного опыта связана с временным «вау-эффектом»⁷, вызванным эйфорией от внедрения новых технологий.

В связи с этим возникает вопрос, насколько фундаментальными являются пре-

³ Rukangu A., Tuttle A., Johnsen K. Virtual reality for remote controlled robotics in engineering education // 2021 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces abstracts and workshops (VRW). – IEEE, 2021. – P. 751-752. DOI: <https://doi.org/10.1109/VRW52623.2021.00258>

⁴ Kasapakis V., Gavalas D., Dzardanova E. Mixed reality // Encyclopedia of Computer Graphics and Games. – Cham: Springer International Publishing, 2024. – P. 1139-1142. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-23161-2_205

⁵ Descheneaux C. R., Reinerman-Jone L., Mos J., Krum D., Hudson I. Negative effects associated with HMDs in augmented and virtual reality // International Conference on Human-Computer Interaction. – Cham: Springer International Publishing, 2020. – P. 410-428. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-49695-1_27

⁶ Fuchs-Brantl M. Work-in-progress-paper: sensory potentials in the immersion experience of schoolchildren in virtual reality. The importance of sensory integration regarding the immersion effect // Academic Proceedings of the 10th International Conference of the Immersive Learning Research Network (ILRN2024). – 2024. – P. 72–82. DOI: <https://doi.org/10.56198/U6C0WMY4Q>

⁷ Almaguer C. A. G., Acosta A. C. A., Jiménez O. R. R. “Wow” Experience with Immersive Reality: Gamification in the Tec Virtual Campus // 2021 Machine Learning-Driven Digital Technologies for Educational Innovation Workshop. – IEEE, 2021. – P. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEE-CONF53024.2021.9733757>

имущества, которые обеспечиваются использованием технологий виртуальной реальности в обучении в сравнении с классическими технологиями представления информации на электронных дисплеях.

Остаются нераскрытыми вопросы оценки «глубины погружения» в виртуальную среду, связь между «глубиной погружения» и эффективностью деятельности в виртуальных средах, а также оценки эффективности в смешанных средах.

Целью статьи является выявление взаимосвязи между точностью решения задачи простого зрительно-моторного слежения за подвижным объектом и технологией предъявления информации с использованием шлема виртуальной реальности и на классическом электронном дисплее.

Методология исследования

В качестве основного методологического подхода использован системный подход, в соответствии с которым рассматривается человеко-машинная система удаленного

управления с информационным контуром и контуром управления.

Удаленное управление представляет собой процесс автоматизированного управления, при котором оператор не находится непосредственно в зрительном контакте с объектом управления, а получает зрительную информацию о состоянии удаленного объекта управления по видеосвязи. Примерами такой операторской деятельности являются управление автономными роботами-манипуляторами для работы в опасных или загрязненных средах, управление беспилотными летательными аппаратами и др.

При таком типе управления человек-оператор вынужден взаимодействовать сразу с двумя информационными средами (рис. 1) – с той средой физического мира, где непосредственно находится оператор (операторская среда), и с той удаленной средой, где функционирует объект управления (рабочая удаленная среда).

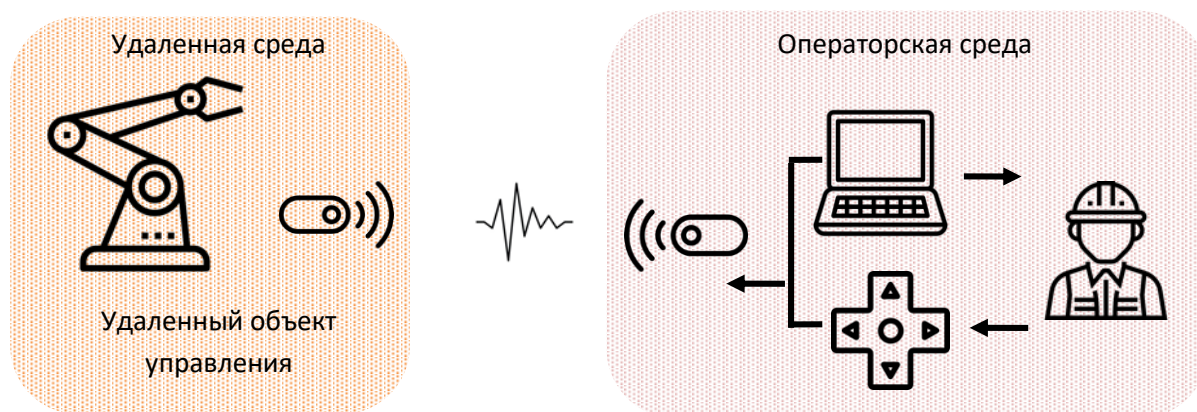


Рис. 1. Схема операторского взаимодействия при реализации удаленного управления с виртуальными технологиями

Fig. 1. Scheme of implementation of operator interaction during remote control with virtual technologies

При этом такой процесс взаимодействия является когнитивно сложным – человеку приходится «переключаться» между средами, выполнять операторские функции в удаленной среде и в некоторой степени взаимодействовать с физической средой, где он находится.

Уровень иммерсивности может быть минимальным (контроль параметров на экране дисплея) или повышенным с эффектом присутствия (технологии виртуальной или дополненной реальности) (рис. 2).

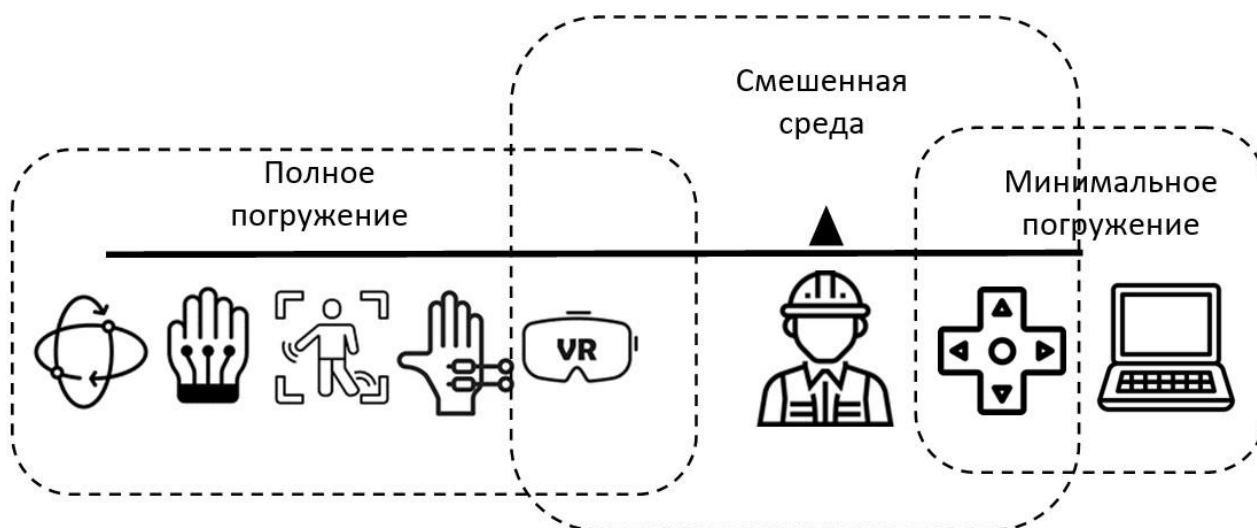


Рис. 2. Схема иммерсивности при реализации удаленного управления с виртуальными технологиями

Fig. 2. Scheme of immersion of operator interaction during remote control with virtual technologies

Глубину иммерсивности можно изменять, дополняя операторскую такими техническими средствами, как шлем виртуальной реальности, перчатки виртуальной реальности, система захвата движения, система обратной тактильной связи, система вестибулярной симуляции и т. д. С увеличением глубины иммерсивности влияние смешанной среды на оператора нивелируется.

Согласно методу контролируемых переменных в качестве варьируемого фактора используем информационный контур – технологию предъявления информации: шлем виртуальной реальности и классический электронный дисплей. Управляющий контур представлен джойстиком с отдельной кнопкой «Стоп».

В качестве простых зрительно-моторных задач использовались две задачи: задача оценки скорости реакции на движущийся объект (РДО) и задача оценки скорости реакции на приближающийся объект (РПО).

Данные задачи являются типовыми для операторов удаленного управления технологическим оборудованием и характеризуют эффективность выполнения операторской деятельности по управлению удаленными объектами [12]. Кроме того, данные тесты могут использоваться для оценки профессионально

важных качеств операторов технологического оборудования⁸.

Согласно тесту РДО испытуемый следил за равномерно передвигающимся по окружности объектом, на котором была обозначена контрольная метка (рис. 3).

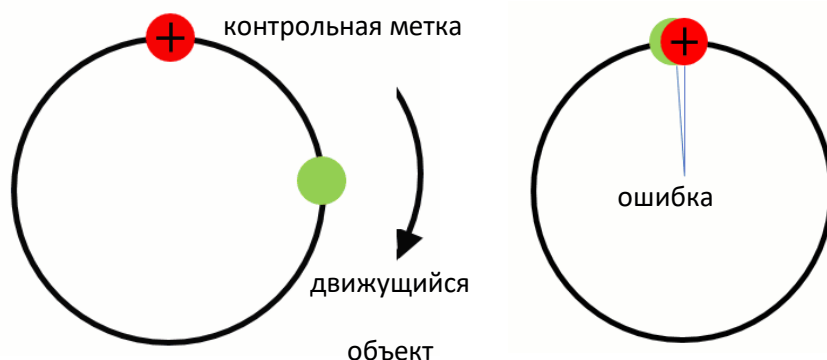


Рис. 3. Тест скорости реакции на движущийся объект

Fig. 3. Test of reaction speed to a moving object

Перед испытуемым ставилась задача остановить движущийся по окружности объект в момент достижения им контрольной метки путем нажатия кнопки «Стоп» на джойстике. Остановка движущегося объекта при нажатии кнопки на джойстике обеспечивала обратную связь с оператором, так что он мог визуально контролировать упреждение или запаздывание в выполнении теста и корректировать свои действия на следующей итерации. При следующем нажатии кнопки

«Стоп» на джойстике объект продолжал движение по окружности, и процесс повторялся.

В каждом повторении теста измерялось (в миллисекундах) время упреждения, если движение объекта было остановлено до его попадания в цель, или время запаздывания, если движение объекта было остановлено после его попадания в цель.

Согласно тесту РПО испытуемый следил за увеличивающимся в размерах объектом (рис. 4).

⁸ Petukhov I., Steshina L., Kurasov P., Tanryverdiev I. Decision support system for assessment of vocational aptitude of man-machine systems operators // 2016 IEEE 8th International Conference on Intelligent Systems (IS). –

IEEE, 2016. – P. 672-679. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29463974> DOI: <https://doi.org/10.1109/IS.2016.7737383>

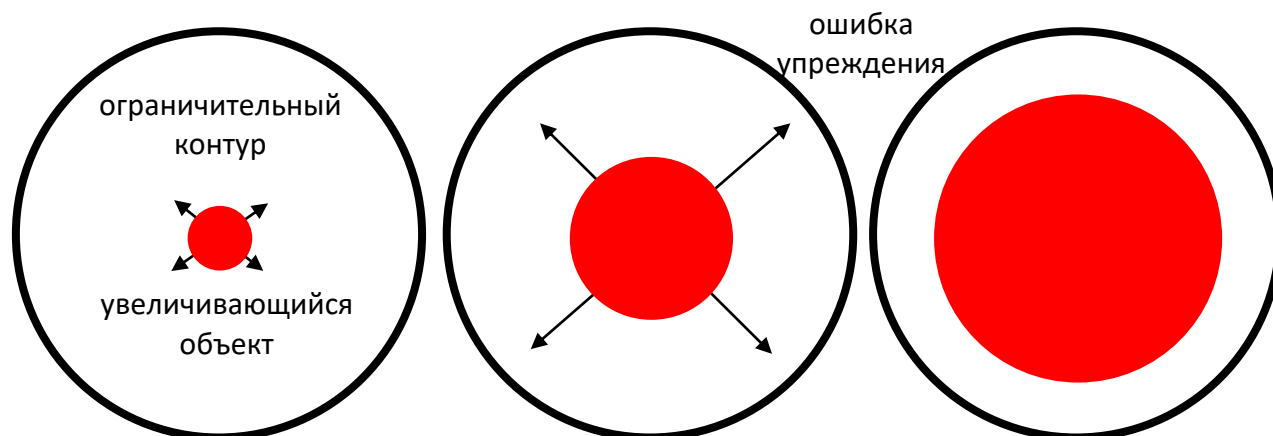


Рис. 4. Тест скорости реакции на приближающийся объект

Fig. 4. Test of reaction speed to an approaching object

Увеличение в размерах объекта моделировало его приближение к испытуемому. При совпадении размеров увеличивающегося объекта с ограничительным контуром испытуемый путем нажатия кнопки «Стоп» на джойстике должен был остановить увеличение в размерах объекта. В этот момент он также мог оценить результат собственных действий и внести коррективы на следующей итерации теста.

В исследовании приняли участие 105 добровольцев в возрасте 19–23 лет, обучающихся по дополнительной профессиональной программе повышения квалификации «Эксплуатация беспилотных авиационных систем». Все испытуемые были поделены на 3 группы профотбора в соответствии с их индивидуальными особенностями остроты зрения

и функционального состояния опорно-двигательного аппарата: первая группа – испытуемые с высокими показателями профессиональной годности, вторая группа – испытуемые со средними показателями профессиональной годности, третья группа – испытуемые с низкими показателями профессиональной годности. Обязательным условием включения в группу испытуемых было отсутствие медицинских показаний к выполнению данного вида профессиональной деятельности.

На этапе тестирования испытуемые были разделены на 2 технологические группы, каждая из которых последовательно проходила тестирование по одним и тем же тестам, но с использованием различных технических средств (рис. 5).

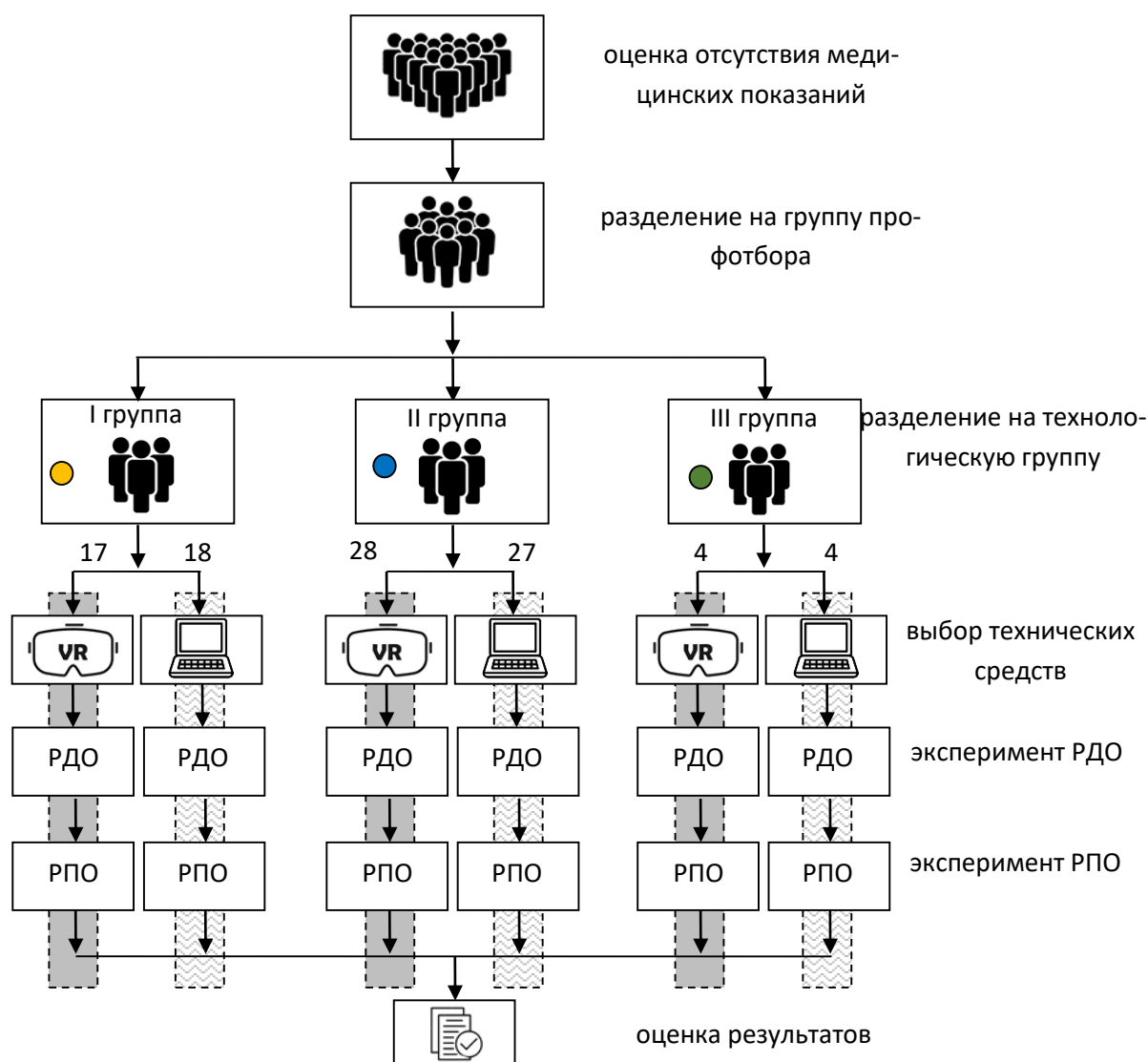


Рис. 5. Схема методики измерений

Fig. 5. Scheme of the measurement technique

В соответствии с принятой методикой измерений, для отсева аутлайеров (грубых выбросов) из анализа были исключены результаты испытуемых, которые продемонстрировали в процессе тестирования не менее одного

грубого выброса. В результате для итогового анализа, в каждую технологическую группу вошло по 49 человек, демонстрирующих относительно стабильные результаты измерений без грубых выбросов (табл. 1).



Таблица 1

Распределение испытуемых по группам профотбора и технологическим группам

Table 1

Distribution of subjects by professional selection groups and technological groups

Группа профотбора	I	II	III
Количество испытуемых в технологической группе VR	17		4
Количество испытуемых в технологической группе PC	18	27	4

Первая технологическая группа испытуемых тестировалась на основе тестов РДО и РПО в условиях восприятия зрительной информации с электронного дисплея – стандартного монитора 5К и частотой обновления 120 Гц.

Вторая технологическая группа испытуемых выполняла аналогичное тестирование в условиях виртуальной среды с использованием шлема виртуальной реальности HTC VIVE Pro 2 с разрешением 4880×2440 пикселей на каждый глаз.

В качестве средств ввода команд управления от испытуемого в обеих группах использовалось аналогичное оборудование – джойстики с рукоятками, аналогичными применяемым в промышленности при управлении мобильными роботами. Персональный компьютер с соответствующими вычислительными мощностями и программное обеспечение также не имело отличий.

Все тестирование проводилось днем в период с 13:00 до 16:00. Перед проведением тестирования все испытуемые прошли подготовительный инструктаж, ознакомились с методикой измерений, принципами действия технического оборудования.

Каждому испытуемому предлагалось выполнить 13 повторений теста – 3 первых повторения для освоения задачи тестирования и 10 последующих повторений для контрольных измерений. В качестве метрики при проведении тестов РДО и РПО для обеих технологических групп тестирования фиксировали среднее время ошибки в секундах и среднеквадратичное отклонение по 10 контрольным измерениям.

Так как наблюдаемая выборка испытуемых достаточно невелика, с целью оценки статистически значимой разницы между группами с уровнем значимости в 5 % использовался метод бутстрэп (bootstrap)⁹. Для выявления внутренних закономерностей и последующего анализа результатов измерений были применены метод кластерного анализа, включая метод машинного обучения без учителя K-means, и метод понижения размерности t-SNE. Поиск оптимального количества кластеров K-means осуществлялся методом локтя (Elbow method), где оценивалась сумма квадратов расстояний каждой точки данных до их центроиды (WCSS). В качестве метрики расстояния было использовано евклидово представление.

⁹ Efron B. Second thoughts on the bootstrap // Statistical science. – 2003. – P. 135-140. DOI: <https://www.jstor.org/stable/3182843>

Результаты исследования

В результате экспериментальных исследований были получены 2 набора данных:

– технологическая группа VR (49 человек): 49 выборок из 10 значений время ошибки РДО и 49 выборок из 10 значений время ошибки РПО;

– технологическая группа РС (49 человек): 49 выборок из 10 значений время ошибки РДО и 49 выборок из 10 значений время ошибки РПО.

В каждой выборке рассчитывались среднее время ошибки и среднеквадратичное отклонение ошибки (СКО) по тестам РДО и РПО.

Для оценки статистических характеристик точности выполнения каждого зрительно-моторного теста в зависимости от применяемой технологии отображения информации с использованием бутстрэп-метода проверялась нулевая гипотеза об отсутствии различий между группами.

Так как рассчитанное р-значение во всех случаях превышает уровень значимости (табл. 2), то нулевая гипотеза не отвергается. Это свидетельствует о том, что различия между группами не являются статистически значимыми.

Таблица 2

Бутстрэп-анализ прохождения тестов в технологических группах

Table 2

Bootstrap analysis of test passing in technology groups

Тест	Метрика	P-value (bootstrap)
РДО	Среднее время ошибки	1
	Среднеквадратичное отклонение	66
РПО	Среднее время ошибки	
	Среднеквадратичное отклонение	61

Таким образом, методами компьютерной статистики различия в прохождении тестов технологической группой в шлеме виртуальной реальности и группой с восприятием информации с электронного дисплея не обнаружены.

Для сегментации и выявления структур данных с применением методов кластеризации данных K-means дальнейший анализ проводили персонифицировано (по каждому испытуемому) по двум тестам на точность зрительно-моторного слежения: РДО и РПО, т. е.

каждому испытуемому в каждой технологической группе соответствовал набор данных из 4-х координат: среднее время ошибки теста РДО, СКО теста РДО, среднее время ошибки теста РПО, СКО теста РПО.

Известно, что малое число кластеров существенно ухудшает результаты кластеризации, в то время как увеличение числа кластеров может привести к появлению множества мелких и специфичных кластеров¹⁰. Для решения данного противоречия использован метод локтя, позволяющий оценить зависимость

¹⁰ Petukhov I., Steshina L., Tanryverdiev I., Kurasov P. Comparison of the perception of space in virtual reality and in the real world // E3S Web of Conferences. – EDP

Sciences, 2024. – Vol. 486. – P. 03023. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=66390031> DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448603023>

суммарной внутрикластерной дисперсии $WCSS$ от количества кластеров K (рис. 6).

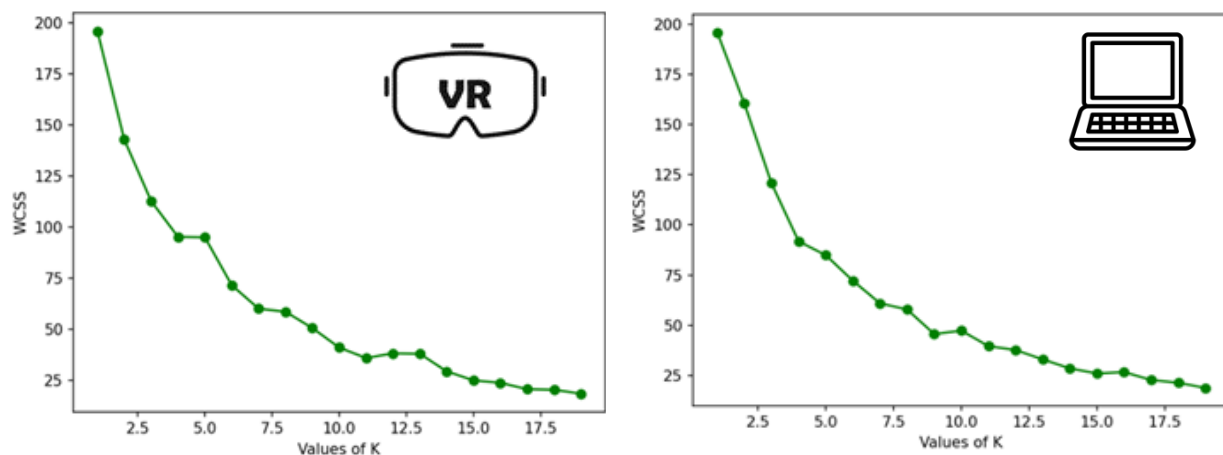


Рис. 6. Результаты кластеризации данных k-means, метод локтя

Fig. 6. Results of k-means data clustering, Elbow method

Из представленных графических данных видно, что методом K-means в обеих технологических группах каких-либо явных кластеров не выявлено.

Так как данные имеют многомерную структуру (четыре координаты), для выявления закономерностей, кластеризации и визуализации данных по точности выполнения зрительно-моторных задач в группах профотбора и использовался метод t-SNE (рис. 7).

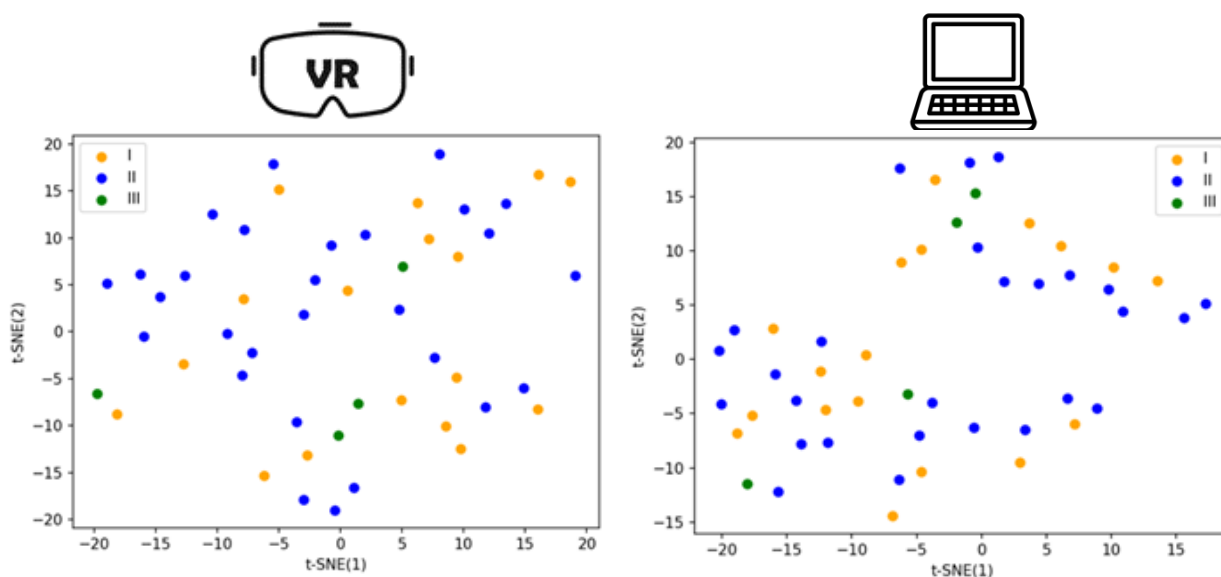


Рис. 7. Результаты визуализации методом t-SNE

Fig. 7. Results of t-SNE visualization

Анализ пространства свидетельствует, что в каждой технологической группе можно выделить 2 кластера, однако разделение не имеет селективности по отношению к группе профотбора.

Расчет центров кластеров характеризует каждый кластер как общую тенденцию всех операторов, относящихся к данному кластеру (табл. 3).

Таблица 3

Координаты центров кластеров после кластеризации t-SNE

Table 3

Coordinates of cluster centers after t-SNE clustering

Номер кластера	Координаты центра кластера							
	Тест РДО				Тест РПО			
	среднее время ошибки		СКО		среднее время ошибки		СКО	
								
1	6		8			3		3
2							6	3

На основании анализа координат центров кластеров можно сделать следующие выводы.

Для группы с использованием шлема виртуальной реальности в тесте РДО не наблюдается явного разделения на два кластера по среднему времени ошибки и среднеквадратическому отклонению. При этом разделение на два кластера для технологической группы РС координата среднего времени ошибки для центров кластеров в тесте РДО отличается в 4 раза. Таким образом, для технологической группы РС проявляется четкая тенденция к проявлению подгруппы людей, хуже справляющихся с тестом РДО.

При выполнении теста РПО технологические группы VR и РС проявляют схожие тенденции к разделению на два кластера. Кластер 1 можно охарактеризовать как подгруппу

людей, лучше справляющихся с тестом РПО (среднее время ошибки VR = 0.000 с, РС = 0.003 с), а кластер 2 – как подгруппу людей, хуже справляющихся с тестом РПО, проявляющих упреждение отклика по отношению к целевой точки (среднее время ошибки VR = -0.024 с, РС = 0.019 с).

Обсуждение

Настоящее исследование было направлено на изучение влияния технологии предъявления информации на точность зрительно-моторного слежения. Полученные в ходе экспериментальных исследований результаты не противоречат известным научным выводам и дополняют их в части использования технологий виртуальной реальности в обучении.

Так, в работе N. M. Vahle, S. Unger и M. J. Tomasik¹¹ установлено, что на скорость

¹¹ Vahle N. M., Unger S., Tomasik M. J. Reaction time-based cognitive assessments in virtual reality—A feasibility study with an age diverse sample // German Medical

Data Sciences 2021: Digital Medicine: Recognize—Understand—Heal. – IOS Press, 2021. – P. 139-145. DOI: <https://doi.org/10.3233/SHTI210552>



реакции человека погружение в виртуальные среды не оказывает существенного как негативного, так и позитивного эффекта. В приведенном исследовании авторы связывают данный эффект с изоляцией виртуального мира от реального. По мнению исследователей, процессы восприятия информации с электронных дисплеев в физической среде могут вызывать большие сенсорные нагрузки на нервную систему оператора по сравнению с виртуальными средами.

В исследовании физической активности в виртуальной реальности S. Grosprêtre с соавторами [13] также не было обнаружено явного эффекта на формируемые фактические моторные навыки испытуемых.

В исследовании скорости реакций в виртуальных средах с использованием психофизиологических тестов, выполненном J. Polechoński и A. Langer [14], был сделан вывод, что как для простых, так и для сложных реакций испытуемые достигли значительно лучших результатов вне виртуальной среды, однако авторам не удалось определить причину такого различия. В качестве предположений, объясняющих различия, авторы приводят различия в аппаратном обеспечении тестов в виртуальной среде и тестов на дисплее компьютера, а именно способ сбора данных с устройств взаимодействия с оператором, задержками и погрешностями измерений. Кроме того, исследователи допускают, что сочетание когнитивных задач с новой для оператора мультисенсорной средой VR могла привести к перегрузке нервной системы и, следовательно, к более длительному времени восприятия информации и времени реакции на стимулы.

Некоторые различия в полученных результатах в части оценки эффективности применения технологий виртуальной реальности зависят и от организации самого исследования. Так, например, J. Wang с соавторами [15] отмечает зависимость результатов восприятия сцен виртуальной реальности от технических характеристик используемого оборудования, в частности частоты кадров в мониторе шлема виртуальной реальности. Кроме того, следует учитывать, что технология представления информации с использованием шлема виртуальной реальности существенно ограничивает поле зрения испытуемого [16] и имеет ограничения глубины трехмерного изображения из-за стереоскопической природы его формирования [17]. Также следует отметить, что в виртуальной реальности пространственное восприятие объектов заметно отличается от их восприятия в реальном мире¹².

В исследовании Y. Su [18] показано, что использование VR позволяет получить эффект в кратковременной перспективе и фактически не демонстрирует положительного эффекта при запоминании и удержании информации. Усиление эффекта обучения возможно при дополнении визуального эффекта погружения дополнительными эффектами, например, тактильной обратной связью [19].

Это также коррелирует с выводами, представленными в исследовании L. Sun, B. G. Lee, W. Y. Chung [20], которые связали результативность обучения с глубиной погружения в симулируемую среду, и связывает выводы авторов с предложенной в настоящей статье иммерсивности при реализации удаленного управления с виртуальными технологиями.

¹² Petukhov I., Steshina L., Tanryverdiev I., Kurasov P. Comparison of the perception of space in virtual reality and in the real world // E3S Web of Conferences. – EDP

Sciences, 2024. – Vol. 486. – P. 03023. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=66390031> DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448603023>



При этом уровень иммерсивности достаточно индивидуален для каждого испытуемого. Вполне вероятно, различия заключаются в индивидуальном уровне погружения в среду и зависят от ранее сформированных концептуальных моделей реагирования. То есть часть испытуемых при использовании шлема виртуальной реальности смогли более глубоко погрузиться в рабочую симулируемую среду, абстрагируясь от своей операторской среды. Аналогичным образом часть испытуемых, работая с информацией посредством электронных дисплеев, воспринимает информацию об удаленном объекте как информацию своей операторской среды. Скорее всего, эти испытуемые демонстрируют более хорошие результаты в управлении внешним объектом.

Другие испытуемые, которым, возможно, не удалось полностью сосредоточиться на процессе управления в той или иной среде, попали в ситуацию «смешанной» реальности, воспринимая информацию из обеих сред – рабочей и операторской. В результате их сенсорные системы, вынужденные переключаться для получения информации, испытывают перегрузку, а операторы демонстрируют меньшую эффективность управления.

Следует отметить, что при использовании классической технологии отображения информации на электронном дисплее тест РДО демонстрирует явную сегментацию испытуемых, кто плохо справляется с данным тестом. Эти результаты подтверждают факт возможности использования теста РДО для оценки профессиональной пригодности и готовности операторов.

В то же время при выполнении теста РПО схожие тенденции в разделении на два кластера проявляются в обеих технологических группах. Таким образом, тест РПО также

может использоваться для оценки профессиональной пригодности и готовности операторов к профессиональной деятельности, в том числе и в виртуальных мирах.

Одной из задач, которые ставились в этом исследовании, являлось подтверждение или опровержение того факта, что участники эксперимента, отобранные по группам здоровья и профессиональной пригодности, покажут различные результаты в тестах РДО и РПО в различных условиях восприятия зрительной информации. Результаты эксперимента не выявили значимых различий в этих трех профгруппах.

Обобщая вышеизложенное, с определенной долей уверенности можно констатировать, что виртуальные среды предпочтительно использовать в реальных задачах удаленного управления в том случае, когда оператору нет необходимости взаимодействовать с окружающими его объектами в реальной среде, минимизируя влияние «смешанной» среды.

Важным моментом является обеспечение адекватности восприятия виртуального объекта и устранение зрительных иллюзий, связанных с глубиной расстояния, положения объекта относительно зрительной оси оператора и т. д., что вносит существенные ограничения на положение объекта управления и его поведение.

Заключение

Целью исследования была оценка точности решения простейших зрительно-моторных задач в условиях применения различных технологий – классической технологии представления информации на электронном дисплее и в условиях виртуальной реальности, с использованием шлема виртуальной реальности.

Оценкой точности решения зрительно-моторной задачи являлись скорости реакции человека на движущиеся и приближающиеся



объекты в различных условиях восприятия визуальной информации.

В статье обобщен опыт использования технических средств виртуальной реальности для обучения и профессиональной подготовки операторов различных отраслей. Подчеркивается, что виртуальная реальность может быть реализована с различной глубиной иммерсивности, которую можно регулировать за счет использования таких технических средств, как шлем виртуальной реальности, перчатки виртуальной реальности, система захвата движения, система обратной тактильной связи, система вестибулярной симуляции и т. д.

Кроме того, авторами отмечается важность обеспечения адекватности восприятия виртуального объекта с учетом физиологических особенностей зрительного восприятия испытуемого.

Обнаружено, что сегментация участников эксперимента на группы здоровья и профотбора не повлияла на различия в скорости реакций человека на движущиеся и приближающиеся объекты.

Экспериментально установлено, что статистически значимых различий в результатах измерения скорости реакций обнаружить не удалось, что свидетельствует об одинаковой точности управления в обеих технологических группах. То есть применение шлема виртуальной реальности не дает выигрыша в точности зрительно-моторного слежения за подвижным объектом.

В связи с этим можно констатировать, что повсеместная замена средств отображения информации с электронных дисплеев на средства отображения виртуального контента для решения простых зрительно-моторных задач в процессе обучения операторов удаленного оборудования не целесообразна. Положительный эффект использования технологий виртуальной реальности при решении простых задач, скорее всего, связан с кратковременным эффектом новизны.

В то же время повышение уровня иммерсивности позволит уйти от негативных эффектов смешанной среды и обеспечить больший уровень погружения, а значит, и обучения, и управления.

Отдельный интерес представляет исследование влияния опыта взаимодействия с виртуальными средами, в частности различного игрового опыта в компьютерных играх в виртуальных средах, на эффективность решения задачи зрительно-моторного слежения. Кроме того, в ходе дальнейших исследований предстоит выяснить взаимосвязь обучения на тренажерах с эффективностью реальной профессиональной деятельности, например, при управлении мобильными робототехническими конструкциями.

Также приведены рекомендации по использованию виртуальных сред и отображения информации на электронных дисплеях в различных ситуациях операторской деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Marron T., Dungan N., Namee B. M., Hagan A. D. O. Virtual reality & pilot training: Existing technologies, challenges & opportunities // Journal of Aviation/Aerospace Education & Research. – 2024. – Vol. 33 (1). – P. 1980. URL: <https://commons.erau.edu/jaaer/vol33/iss1/1/> DOI: <https://doi.org/10.58940/2329-258X.1980>
2. Cross J., Boag-Hodgson C., Ryley T., Mavin T. J., Potter L. E. Using extended reality in flight simulators: a literature review // IEEE transactions on visualization and computer graphics. – 2022. – Vol. 29 (9). – P. 3961–3975. DOI: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3173921>



3. Tubis A. A., Restel F., Jodejko-Pietruczuk A. Development of a virtual reality tool for train crew training // *Applied Sciences*. – 2023. – Vol. 13 (20). – P. 11415. DOI: <https://doi.org/10.3390/app132011415>
4. Fauville G., Fauville G., Queiroz A. C., Hambrick L., Brown B. A., Bailenson J. N. Participatory research on using virtual reality to teach ocean acidification: a study in the marine education community // *Environmental education research*. – 2021. – Vol. 27 (2). – P. 254–278. DOI: <https://doi.org/10.1080/13504622.2020.1803797>
5. Satu P., Jari L., Hanna K., Tomi P., Marja L., Tuisku-Tuuli S. Virtual-Reality training solutions for nuclear power plant field operators: A scoping review // *Progress in Nuclear Energy*. – 2024. – Vol. 169. – P. 105104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2024.105104>
6. Guthridge R., Clinton-Lisell V. Evaluating the efficacy of virtual reality (VR) training devices for pilot training // *Journal of Aviation Technology and Engineering*. – 2023. – Vol. 12 (2). – P. 1. DOI: <https://doi.org/10.7771/2159-6670.1286>
7. Lapointe J. F., Robert J. M. Using VR for efficient training of forestry machine operators // *Education and Information Technologies*. – 2000. – Vol. 5 (4). – P. 237–250. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1012045305968>
8. Alonso R., Bonini A., Reforgiato Recupero D., Spano L. D. Exploiting virtual reality and the robot operating system to remote-control a humanoid robot // *Multimedia Tools and Applications*. – 2022. – Vol. 81 (11). – P. 15565–15592. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-022-12021-z>
9. Lavoie R., Main K., King C., King D. Virtual experience, real consequences: the potential negative emotional consequences of virtual reality gameplay // *Virtual Reality*. – 2021. – Vol. 25 (1). – P. 69–81. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00440-y>
10. Vehteva N., Nazarova A., Surkova E. Analysis and modeling of the negative impact of virtual reality // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 2096 (1). – P. 012033. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2096/1/012033>
11. Ramaseri Chandra A. N., El Jamiy F., Reza H. A systematic survey on cybersickness in virtual environments // *Computers*. – 2022. – Vol. 11 (4). – P. 51. DOI: <https://doi.org/10.3390/computers11040051>
12. Petukhov I., Steshina L. Training personalization for operators of complex equipment // *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. – 2015. – Vol. 186. – P. 1240–1247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.067>
13. Grosprêtre S. Marcel-Millet P., Eon P., Wollesen B. How exergaming with virtual reality enhances specific cognitive and visuo-motor abilities: an explorative study // *Cognitive science*. – 2023. – Vol. 47 (4). – P. e13278. DOI: <https://doi.org/10.1111/cogs.13278>
14. Polechoński J., Langer A. Assessment of the relevance and reliability of reaction time tests performed in immersive virtual reality by mixed Martial arts fighters // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22 (13). – P. 4762. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22134762>
15. Wang J., Shi R., Zheng W., Xie W., Kao D., Liang H. N. Effect of frame rate on user experience, performance, and simulator sickness in virtual reality // *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. – 2023. – Vol. 29 (5). – P. 2478–2488. DOI: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3247057>
16. Reneker J. C., Pruett W. A., Pannell W. C., Brown M., Babl R. M., Shirley H. L., Zhang Y. Central and peripheral attention in virtual reality: test of visual efficiency for concussion detection // *Journal of Medical Extended Reality*. – 2024. – Vol. 1 (1). – P. 21–29. DOI: <https://doi.org/10.1089/jmxr.2023.0001>



17. Vinokur A. I., Kondratiev N. V., Ovechkis Y. N. The research of the stereoscopic characteristics of virtual reality helmets // Scientific visualization. – 2020. – Vol. 12. – № 1. – P. 61–69. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42544194> DOI: <https://doi.org/10.26583/sv.12.1.05>
18. Su Y. Does ‘WOW’ translate to an ‘A’? Exploring the effects of virtual reality assisted multimodal text on Chinese Grade 8 EFL learners’ reading comprehension // Journal of Language Teaching. – 2021. – Vol. 1 (1). – P. 38–58. DOI: <https://doi.org/10.54475/jlt.2021.015>
19. Raza A., Hassan W., Jeon S. Pneumatically controlled wearable tactile actuator for multi-modal haptic feedback // IEEE Access. – 2024. – Vol. 12. – P. 59485–59499. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3376753>
20. Sun L., Lee B. G., Chung W. Y. Enhancing fire safety education through immersive virtual reality training with serious gaming and haptic feedback // International Journal of Human–Computer Interaction. – 2025. – Vol. 41 (9). – P. 5607–5622. DOI: <https://doi.org/10.1080/10447318.2024.2364979>

Поступила: 22 июля 2025

Принята: 2 сентября 2025

Опубликована: 31 октября 2025

Заявленный вклад авторов:

- Л. А. Стешина (основной исполнитель): сбор эмпирического материала.
И. С. Стешин (исполнитель): выполнение статистических процедур, оформление текста статьи.
Д. Велев (исполнитель): интерпретация результатов.
П. Златева (исполнитель): литературный обзор.
И. В. Петухов (руководитель исследования): организация исследования, концепция и дизайн исследования и общее руководство.

Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Информация о конфликте интересов:

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи



Информация об авторах

Стешина Людмила Александровна

кандидат технических наук, доцент
кафедра проектирования и производства электронно-вычислительных средств
Поволжский государственный технологический университет
пл. Ленина, 3, 424000, г. Йошкар-Ола, Россия.
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-1526-991X>
SPIN-код: 3493-0013
E-mail: SteshinaLA@volgatech.net

Стешин Илья Сергеевич

научный сотрудник
кафедра проектирования и производства электронно-вычислительных средств
Поволжский государственный технологический университет
пл. Ленина, 3, 424000, г. Йошкар-Ола, Россия.
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-4241-3798>
E-mail: SteshinIS@volgatech.net

Велев Димитр

доктор наук, профессор
кафедра информатики
Университет национальной и мировой экономики
Студентски Комплекс, ул. „8-ми декември“ 19, 1700 София, Болгария
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3030-1819>
E-mail: dgvelev@unwe.bg

Златева Пламена

доктор наук, профессор
кафедра информатики
Университет национальной и мировой экономики
Студентски Комплекс, ул. „8-ми декември“ 19, 1700 София, Болгария
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0153-5811>
E-mail: plamzlateva@unwe.bg

Петухов Игорь Валерьевич

доктор технических наук, профессор
кафедра проектирования и производства электронно-вычислительных средств
Поволжский государственный технологический университет
пл. Ленина, 3, 424000, г. Йошкар-Ола, Россия.
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2365-4857>
SPIN-код: 6009-1846
E-mail: Petuhoviv@volgatech.net



The specifics of cognitive perception processes in education: Identification of the relationship between the accuracy of solving the problem of simple visual-motor tracking and the technology of information presentation

Liudmila A. Steshina¹, Ilya S. Steshin¹, Dimitar Velevev², Plamena Zlateva², Igor V. Petukhov  ¹

¹ Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russian Federation

² University of National and World Economy, Sofia, Bulgaria

Abstract

Introduction. The article presents research findings on the comprehension of perceptively simple visual information in two -dimensional and three -dimensional spaces. The purpose of the article is to identify the relationship between the accuracy of solving the problem of simple visual and motor monitoring of a moving object and the technology of presenting information: using a helmet of virtual reality and on a standard electronic display.

Materials and Methods. The study used theoretical (system analysis) and empirical (experimental) research methods as well as mathematical statistics techniques and cluster analysis.

Results. The study has summarized the experience of using virtual reality technologies for instruction and vocational training of operators for various industries. The importance of ensuring the adequacy of the perception of the virtual object, taking into account the physiological characteristics of the visual perception of the subject is emphasized. The authors provide recommendations for using virtual media and information on electronic displays in various operator situations.

Conclusions. The article concludes that the use of virtual reality technology does not lead to a statistically significant change in accuracy of solving simple visual-motor problems in comparison with the technology of presenting information on the screen of a standard video monitor. Thus, the

Acknowledgments

The study was financially supported by the Russian Science Foundation by a Grant. Project No. 23-19-00568 ("The methods and intellectual system for supporting the dynamic stability of ergatic system operators"). <https://rscf.ru/project/23-19-00568>.

For citation

Steshina L. A., Steshin I. S., Velevev D., Zlateva P., Petukhov I. V. The specifics of cognitive perception processes in education: Identification of the relationship between the accuracy of solving the problem of simple visual-motor tracking and the technology of information presentation. *Science for Education Today*, 2025, vol. 15 (5), pp. 116–138. DOI: <http://dx.doi.org/10.15293/2658-6762.2505.06>

  Corresponding Author: Igor V. Petukhov, Petuhoviv@volgatech.net

© Liudmila A. Steshina, Ilya S. Steshin, Dimitar Velevev, Plamena Zlateva, Igor V. Petukhov, 2025



widespread replacement of information display equipment from electronic displays with means of displaying virtual content to solve simple visual-motor problems in the process of training operators of remote equipment is not appropriate.

Keywords

Professional training; Effectiveness of operator activities; Accuracy of visual and motor testing; Reaction to a moving object; Reaction to an approaching object; Immersion; Virtual reality technologies; Training simulators.

REFERENCES

1. Marron T., Dungan N., Namee B. M., Hagan A. D. O. Virtual reality & pilot training: Existing technologies, challenges & opportunities. *Journal of Aviation/Aerospace Education & Research*, 2024, vol. 33 (1), pp. 1980. URL: <https://commons.erau.edu/jaaer/vol33/iss1/1/> DOI: <https://doi.org/10.58940/2329-258X.1980>
2. Cross J., Boag-Hodgson C., Ryley T., Mavin T. J., Potter L. E. Using extended reality in flight simulators: A literature review. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2022, vol. 29 (9), pp. 3961-3975. DOI: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3173921>
3. Tubis A. A., Restel F., Jodejko-Pietruczuk A. Development of a virtual reality tool for train crew training. *Applied Sciences*, 2023, vol. 13 (20), pp. 11415. DOI: <https://doi.org/10.3390/app132011415>
4. Fauville G., Fauville G., Queiroz A. C., Hambrick L., Brown B. A., Bailenson J. N. Participatory research on using virtual reality to teach ocean acidification: A study in the marine education community. *Environmental Education Research*, 2021, vol. 27 (2), pp. 254-278. DOI: <https://doi.org/10.1080/13504622.2020.1803797>
5. Satu P., Jari L., Hanna K., Tomi P., Marja L., Tuisku-Tuuli S. Virtual-Reality training solutions for nuclear power plant field operators: A scoping review. *Progress in Nuclear Energy*, 2024, vol. 169, pp. 105104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2024.105104>
6. Guthridge R., Clinton-Lisell V. Evaluating the efficacy of virtual reality (VR) training devices for pilot training. *Journal of Aviation Technology and Engineering*, 2023, vol. 12 (2), pp. 1. DOI: <https://doi.org/10.7771/2159-6670.1286>
7. Lapointe J. F., Robert J. M. Using VR for efficient training of forestry machine operators. *Education and Information Technologies*, 2000, vol. 5 (4), pp. 237-250. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1012045305968>
8. Alonso R., Bonini A., Reforgiato Recupero D., Spano L. D. Exploiting virtual reality and the robot operating system to remote-control a humanoid robot. *Multimedia Tools and Applications*, 2022, vol. 81 (11), pp. 15565-15592. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-022-12021-z>
9. Lavoie R., Main K., King C., King D. Virtual experience, real consequences: The potential negative emotional consequences of virtual reality gameplay. *Virtual Reality*, 2021, vol. 25 (1), pp. 69-81. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00440-y>
10. Vehteva N., Nazarova A., Surkova E. Analysis and modeling of the negative impact of virtual reality. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, Vol. 2096 (1), pp. 012033. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2096/1/012033>
11. Ramaseri Chandra A. N., El Jamiy F., Reza H. A systematic survey on cybersickness in virtual environments. *Computers*, 2022, vol. 11 (4), pp. 51. DOI: <https://doi.org/10.3390/computers11040051>



12. Petukhov I., Steshina L. Training personalization for operators of complex equipment. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2015, vol. 186, pp. 1240-1247. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.067>
13. Grosprêtre S. Marcel-Millet P., Eon P., Wollesen B. How exergaming with virtual reality enhances specific cognitive and visuo-motor abilities: An explorative study. *Cognitive Science*, 2023, vol. 47 (4), pp. e13278. DOI: <https://doi.org/10.1111/cogs.13278>
14. Polechoński J., Langer A. Assessment of the relevance and reliability of reaction time tests performed in immersive virtual reality by mixed Martial arts fighters. *Sensors*, 2022, vol. 22 (13), pp. 4762. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22134762>
15. Wang J., Shi R., Zheng W., Xie W., Kao D., Liang H. N. Effect of frame rate on user experience, performance, and simulator sickness in virtual reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 2023, vol. 29 (5), P. 2478-2488. DOI: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3247057>
16. Reneker J. C., Pruett W. A., Pannell W. C., Brown M., Babl R. M., Shirley H. L., Zhang Y. Central and peripheral attention in virtual reality: test of visual efficiency for concussion detection. *Journal of Medical Extended Reality*, 2024, vol. 1 (1), pp. 21-29. DOI: <https://doi.org/10.1089/jmxr.2023.0001>
17. Vinokur A. I., Kondratiev N. V., Ovechkis Y. N. The research of the stereoscopic characteristics of virtual reality helmets. *Scientific Visualization*, 2020, vol. 12 (1), pp. 61-69. DOI: <https://doi.org/10.26583/sv.12.1.05>
18. Su Y. Does 'WOW' translate to an 'A'? Exploring the effects of virtual reality assisted multimodal text on Chinese Grade 8 EFL learners' reading comprehension. *Journal of Language Teaching*, 2021, vol. 1 (1), pp. 38-58. DOI: <https://doi.org/10.54475/jlt.2021.015>
19. Raza A., Hassan W., Jeon S. Pneumatically controlled wearable tactile actuator for multi-modal haptic feedback. *IEEE Access*, 2024, vol. 12, pp. 59485-59499. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3376753>
20. Sun L., Lee B. G., Chung W. Y. Enhancing fire safety education through immersive virtual reality training with serious gaming and haptic feedback. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2025, vol. 41 (9), pp. 5607-5622. DOI: <https://doi.org/10.1080/10447318.2024.2364979>

Submitted: 22 July 2025

Accepted: 2 September 2025

Published: 31 October 2025



This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution License](#) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. (CC BY 4.0).





The authors' stated contribution:

Liudmila A. Steshina

Contribution of the co-author: (main author of the study): collecting empirical material.

Ilya S. Steshin

Contribution of the co-author: (author of the study): performing statistical procedures, formatting the text of the article.

Dimiter Velez

Contribution of the co-author: interpretation of the results.

Plamena Zlateva

Contribution of the co-author: literary review.

Igor V. Petukhov

Contribution of the co-author: (head of the study): organization of the study, concept and design of the study and general guidance of the study.

All authors reviewed the results of the work and approved the final version of the manuscript.

Information about competitive interests:

The authors declare no apparent or potential conflicts of interest in connection with the publication of this article

Information about the Authors

Liudmila Aleksandrovna Steshina

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Design and Production of Electronic Computing Equipment,
Volga State University of Technology,
Lenin's sq. 3, 424000, Yoshkar-Ola, Russian Federation.
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-1526-991X>
E-mail: SteshinaLA@volgatech.net

Ilya Sergeevich Steshin

Postgraduate, Research Fellow,
Department of Design and Production of Electronic Computing Equipment,
Volga State University of Technology,
Lenin's sq. 3, 424000, Yoshkar-Ola, Russian Federation.
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-4241-3798>
E-mail: SteshinIS@volgatech.net



Dimiter Velev

Dr., Professor (Full),
Department of Informatics,
University of National and World Economy,
1700 Sofia, Student District, No.19 December 8th str., UNWE, Bulgaria.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3030-1819>
E-mail: dgvelev@unwe.bg

Plamena Zlateva

Dr., Professor (Full),
Department of Informatics,
University of National and World Economy,
1700 Sofia, Student District, No.19 December 8th str., UNWE, Bulgaria.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0153-5811>
E-mail: plamzlateva@unwe.bg

Igor Valerevich Petukhov

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Design and Production of Electronic Computing Equipment,
Volga State University of Technology,
Lenin's sq. 3, 424000, Yoshkar-Ola, Russian Federation.
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-2365-4857>
E-mail: Petuhoviv@volgatech.net