УДК 004.946

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСКОМФОРТНЫХ КОМБИНАЦИЙ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ПРИЛОЖЕНИЯХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Копченова Д.А., Кашкин Е.В., Никульчев Е.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА — Российский технологический университет», 119454, Российская Федерация, г. Москва, проспект Вернадского, 78, e-mail: kopchenova@mirea.ru

В приложениях виртуальной реальности (VR) некоторые пользователи испытывают киберукачивание. Для части пользователей, которые легко переносят погружение в VR, вызывает дискомфорт сочетание некоторых видов движений и перемещений. При разработке программного обеспечения VR-приложений необходимо обоснованно выбирать для реализации те комбинации перемещения, которые вносят минимальный дискомфорт. Поскольку у разных групп пользователей разный уровень подготовки и стрессоустойчивости (например, пилоты практически не испытывают киберукачивания, высокий уровень у киберспортменов, студенты и пользователи VR-тренажеров имеют разный уровень устойчивости к киберболезням), то актуальной является задачи разработки инструментов анализа киберукачивания для конкретной группы пользователей. Разработано программное обеспечение, включающее различные комбинации перемещения используемые в VR-играх. Проведено исследование для двух выборок пользователей (студентов). В рамках исследования выявлены наиболее предпочтительные комбинации перемещений и их технические характеристики, которые можно рекомендовать при разработке VR-игр или тренажеров для студентов.

Ключевые слова: киберукачивание, виртуальная реальность, VR, уровень переносимости VR, VR-эксперимент, VR-укачивание, укачивание.

IDENTIFICATION OF UNCOMFORTABLE MOVEMENT COMBINATIONS IN VIRTUAL REALITY APPLICATIONS

Kopchenova D.A., Kashkin E.V., Nikulchev E.V.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «MIREA – Russian Technological University», 119454, Russian Federation, Moscow, Vernadskogo Ave., 78, e-mail: kopchenova@mirea.ru

In virtual reality (VR) applications, some users experience cybersickness. For some users who easily tolerate immersion in VR, the combination of certain types of movements and movements causes discomfort. When developing software for VR applications, it is necessary to reasonably choose those movement combinations that cause minimal discomfort. Since different user groups have different levels of training and stress tolerance (for example, pilots practically do not experience cyberstress, cybersport athletes have a high level, students and users of VR simulators have different levels of resistance to cyber-pain), it is urgent to develop tools for analyzing cybersickness for a specific group of users. Software has been developed that includes various movement combinations used in VR games. A study was conducted for two samples of users (students). The study identified the most preferred combinations of movements and their technical characteristics that can be recommended when developing VR games or simulators for students.

Keywords: cybersickness, virtual reality, VR, VR portability level, VR experiment, VR sickness, motion sickness.

Введение

На сегодняшний день не существует стандарта, охватывающего все аспекты разработки и оценки VR-приложений. В РФ есть ряд ГОСТ-ов [1, 2], которые регламентируют работу и разработку VR приложений. Однако нет стандартов, относящихся к развивающимся в настоящее время принципам UX/UI-дизайна VR (User Experience/User Interface), ориентированным на комфортность пользователей, уход от традиционной 2D- среды человеко-машинного взаимодействия и управлением вниманием пользователя интуитивно-понятными пространственными инструментами. Требует методического обеспечения и регламентирования вопросов эргономики, физиологического воздействия VR, безопасных методов локомоции (от лат. locus — место, motio — движение, активное перемещение живых существ в пространстве). Разработчики, в основном ориентируются на рекомендации, предоставляемые производителями платформ и оборудования, которые содержат базовые технические требования, такие как минимальная частота кадров, допустимая задержка, правила проектирования интерфейсов и методы предотвращения киберукачивания. При этом каждый

разработчик по-своему интерпретирует допустимые методы и параметры локомоции, частоты кадров, углов обзора и взаимодействия. Распространение VR в прикладных различных областях создаёт потребность в разработке подходов к оценке пользовательского опыта, особенно относительно вопроса переносимости VR-среды.

Киберукачивание (киберболезнь, киберстресс) — это психофизиологический синдром, который проявляется во время и после воздействия различных сред виртуальной реальности. Симптомы киберукачивания [3] проявляются со стороны нервной системы и вестибулярного аппарата: общий дискомфорт, головокружение, тошнота, нарушение глазодвигательных реакций, дезориентацию в пространстве, временное снижение адаптационных реакций мозга.

Киберукачивание возникает в результате совокупности аппаратных и программных факторов реализации VR. Наибольшее распространение получила теория сенсорного конфликта и теории нейронного несоответствия [4–6], согласно которым симптомы киберукачивания возникают на уровне центральной нервной системы из-за расхождения между ожидаемыми и фактическими ощущениями движения [4, 5]. Чувство равновесия и ориентации в пространстве формируется благодаря согласованной работе зрительных, вестибулярных и проприоцептивных каналов. Если разработчик не продумывает решение по взаимодействию с VR, то возможен к сенсорному диссонансу, то есть конфликт между зрительной и вестибулярной системами, при котором центральная нервная система интерпретирует противоречивые сенсорные сигналы, что и вызывает киберукачивание.

К аппаратным причинам относят задержку отклика, низкую частоту обновления и рассинхронизацию между движениями пользователя и визуальным откликом системы. Среди программных факторов — несоответствия в визуально-вестибулярной интеграции, вызывающие искажения пространственного восприятия и дезориентацию пользователя в виртуальной среде [6]. В совокупности эти факторы приводят к физиологическим и когнитивным реакциям, схожим с симптомами укачивания, что делает киберукачивание одной из ключевых проблем VR-технологий [7, 8].

Стандартизация приложений VR сильно зависит от индивидуальных факторов — физиологии, опыта использования, типа контента, реализации приложения и используемого оборудования. По этой причине на данный момент вместо универсального стандарта используется набор рекомендаций, а вопросы комфорта и киберукачивания решаются, как правило, на уровне отдельных приложений и пользовательских тестов. Анализ опыта разработки показывает, что у разных групп пользователей разный уровень подготовки и стрессоустойчивости, например, пилоты практически не испытывают киберукачивание в VR, также высокий уровень у киберспортменов, пользователи VR-тренажеров имеют разный уровень устойчивости к кибербoлезням, соответствующий профессиональным требованиям. Для использования VR-технологий в образовательном процессе или разработке VR-игр, ориентированных на определенный возраст, необходимо выявить наиболее комфортные программно-аппаратные решения, уменьшающие киберукачивание в конкретной группе, то есть для каждой группы пользователей необходимо вырабатывать свои рекомендации. Студенты педагогических вузов, студенты медицинских или технологических специальностей могут обладать разной групповой чувствительностью к некоторым видам вовлечения в VR-среду. В этих условиях актуальной является задача разработки инструментов анализа киберукачивания для конкретной группы пользователей.

Для формирования обоснованных рекомендаций по проектированию и адаптации VR-среды предварительно необходимо провести тестирование пользователей и собрать данные о физиологических и субъективных реакциях на различные элементы взаимодействия. На основе таких данных можно выявить закономерности в восприятии виртуальной среды, отличия в чувствительности к кибербoлезни при различных сочетаниях взаимодействия в виртуальной среде.

Анализ полученных данных позволяет выявить наиболее комфортные сочетания перемещений и определить критические параметры. Это позволит создать основу для рекомендаций по разработке VR-приложений для рассматриваемой группы пользователей.

Для проведения исследований разработано специализированное программное обеспечение [9], использующее сочетание вариантов взаимодействия с VR-средой, популярных в VR-играх для пользователей студенческого возраста (целевой аудитории использования VR в играх является пользователи в возрасте от 18 до 34 лет [10]). Приложение было использовано на двух независимых группах студентов, с пошаговой оценкой самоощущений. В исследовании рассматривается вопрос о выделении групп движений в VR, производящие наиболее дискомфортные ощущения по восприятию пользователей рассмотренных группы.

Таким образом, целью работы является выявление дискомфортных сочетаний методов перемещения для распространенных решений в VR-играх для пользователей студенческого возраста.

Для решения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Планирование эксперимента с использованием разработанного программно-аппаратного инструмента.
2. Проверить гипотезу о зависимость показания пульса и артериального давления по отношению к физическому состоянию пользователя при использовании VR технологий.
3. Провести экспериментальную оценку состояния пользователя после прохождения составления тестов в VR-приложения.
4. Выявить группы методов, вызывающих дискомфорт у пользователей целевой группы.
5. Повторить исследования для второй независимой группы и выявить согласованность данных.
6. Сформировать методику выявления дискомфортных сочетаний взаимодействия с VR-средой.

Основным научным результатом статьи является решение задачи анализа VR-приложений в части комфортности для целевой группы пользователей сочетаний перемещений среди возможных вариантов программных реализаций, позволяющее обоснованно выбирать технологии, уменьшающие киберукачивание. Отличие от аналогов состоит в разработке специализированного диагностирующего программного обеспечения и ориентации на целевую аудиторию, что позволило сформировать научно-обоснованные рекомендации по выбору конкретных технологий VR в приложениях.

Методическое и программно-аппаратное обеспечение выявления индивидуального киберукачивания в виртуальной реальности

В основе испытаний использовано разработанное методическое и программно-аппаратное обеспечение выявления индивидуального киберукачивания в виртуальной реальности [9]. В рамках разработанного приложения пользователь погружается в виртуальную реальность, где поэтапно сталкивается со всеми базовыми типами взаимодействия, характерными для VR-среды. Прохождение этого испытания позволяет в контролируемых условиях сосредоточиться на ощущениях и выявить действия, вызывающие дискомфорт.

Схема проведения эксперимента представлена на рисунке 1. В рамках настоящего исследования испытания перед пользователем стояло несколько задач. Первая задача заключалась в том, что пользователю было необходимо осмотреться по сторонам без использования контроллеров. Вторая задача включала в себя поворот с использованием контроллеров. Третья — состоит из трех вариантов изменения VR при повороте, при котором необходимо выполнить проход по локации и несколько контрольных движений: прыжок с высоты, взаимодействие и движение с объектом, спуск по лестнице, ощущение дискомфорта при которых фиксируются в опросе.

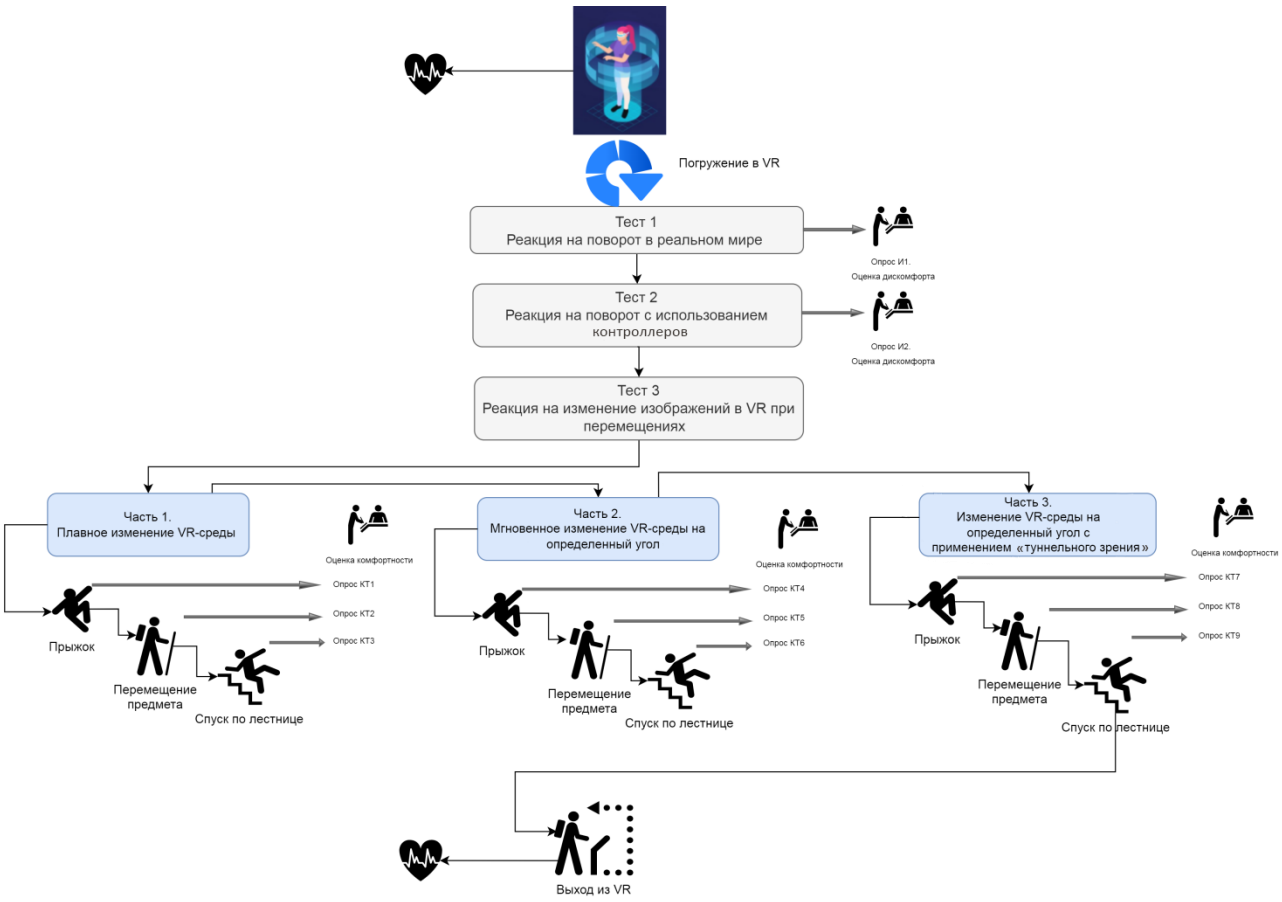

Рисунок 1. Схема проведения эксперимента

Первый тест — оценка дискомфорта при повороте в VR за счёт поворота пользователя в физической реальности.

Второй тест — поворот в VR с использованием контроллеров.

Третий тест состоит из трех частей. Первая часть — поворот пользователя в VR пространстве происходит плавно, как в обычной 3D-игре, VR-среда изменяется непрерывно и постепенно. Вторая — для изменения VR-среды применен метод поворота, при котором обзор мгновенно «перескакивает» на фиксированный угол (например, 30° или 45°). Третья — аналогично второй, но во время поворота изображение временно затемняется или сужается до центрального «туннеля», что уменьшает визуальную нагрузку. В каждой части выполняются следующие наборы действий: прыжок с высоты, перенос объекта (коробки), спуск/подъем по лестнице. Каждое из контрольных движений сопровождается соответствующим опросом по дискомфорту (см. рис. 1, опросы КТ1-КТ9).

На рисунках 2-4 представлены скриншоты из диагностического программного обеспечения.

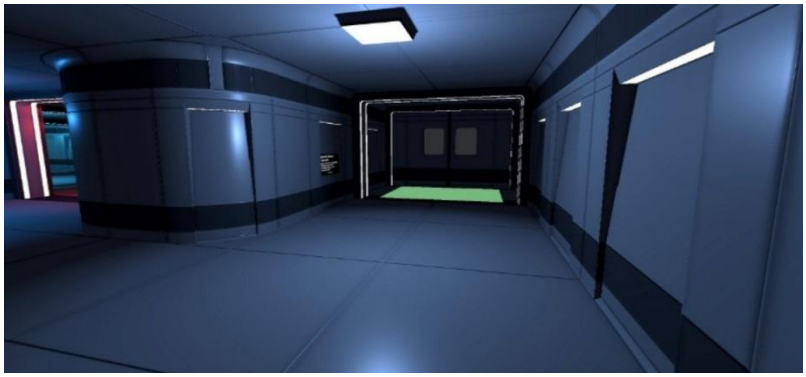

Рисунок 2. Локация

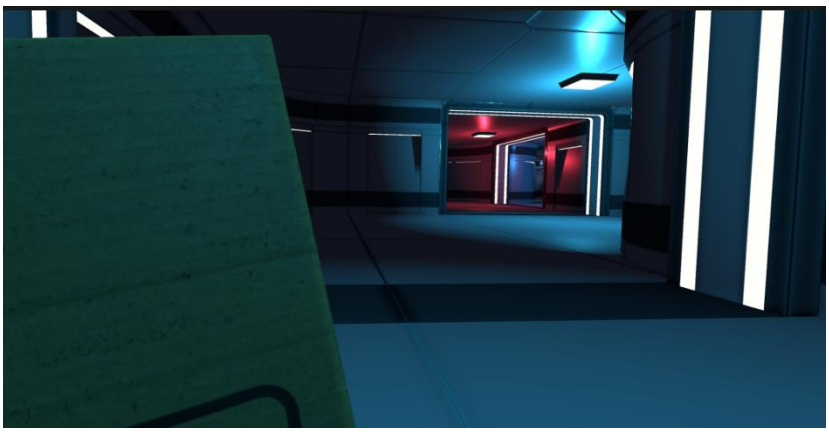

Рисунок 3. Взаимодействие с объектами в VR

Прыжок с высоты в VR (КТ1, КТ4, КТ7) — в VR приложение имитируется прыжок с высокой платформы вниз. Несмотря на отсутствие реального движения, визуальное ощущение падения позволяет оценить, вызывает ли такая ситуация/движение дискомфорт.

Взаимодействие с предметами (КТ2, КТ5, КТ8) — пользователь выполняет задачу по переносу объекта (коробки) из заданной зоны в точку сбора, находящуюся в начальной части локации (см. рис. 2).

Спуск/подъем по ступенькам лестницы в VR (КТ3, КТ6, КТ9) — перед пользователем ставятся задачи, по преодолению ступенек лестницы с переносом объекта. Данное задание предназначено для оценки субъективной и физиологической реакции на виртуальный подъём и спуск, включая возможные проявления VR-дискомфорта.

Задания отличаются как используемым методом поворота в VR и длительностью сессии, так и степенью осведомлённости пользователя о предстоящем действии. Так как выполнение КТ6 и КТ11 реализуется после выполнения первой части третьего испытания, к их выполнению участник уже обладает определённым ожиданием относительно контрольной точки.

Перед погружением пользователя в виртуальную реальность проводилось измерение артериального давления.

В ходе исследования пользователя погружали в виртуальную реальность с использованием шлема VR шлем Oculus Quest 2. В рамках первых двух задания/испытаний, а далее перед пользователем будет поставлена общая задача и по ходу её выполнения, будут усложняться условия перемещения (Рисунок 4), а точнее поворота пользователя в VR.

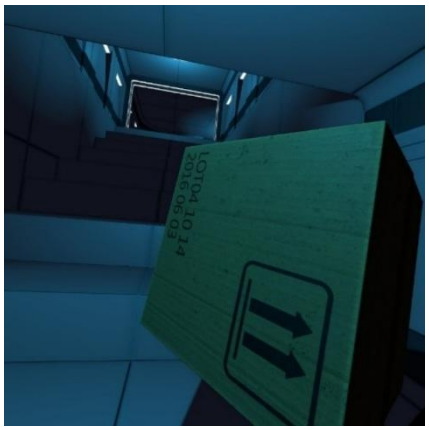

Рисунок 4. Выполнение прыжков в VR вместе с объектом

Проверка гипотез о связи пульса и давления с состояниями дискомфорта

Одним из ключевых индикаторов пользовательского состояния является физиологическая реакция, в частности — изменения частоты сердечных сокращений. В рамках данного анализа было сформулировано несколько пар гипотез. Первая пара взаимосвязанных гипотез направлена на определение того, связаны ли скачки пульса у пользователя во время прохождения испытания в VR с испытываемым им дискомфортом.

Всего в исследование участвовало 27 человек: 11 человек испытывали дискомфорт после прохождения испытания, остальные 16 - нет.

В ходе тестирования производилось фиксирование следующий физиологических данных пользователя:

– артериальное давление (до и после погружения в VR);

– пульс во время прохождения испытания;
– результаты опроса в ходе испытания.

В ходе испытания проводилось фиксирование физиологических данных для анализа в ходе VR-эксперимента. Частота сердечных сокращений фиксировалась с использованием фитнес-браслета HUAWEI Band 8, а показатели артериального давления - с использованием медицинского оборудования Patient Monitor. Субъективная информация о дискомфорте регистрировалась посредством пользовательского опроса, проводимого в процессе и по завершении сессии.

Первая гипотеза — наличие связи скачков пульса во время погружения в VR с испытываемым дискомфортом. Нулевая гипотеза: среднее количество скачков пульса у пользователей, испытывающих дискомфорт, не отличается от тех, кто дискомфорта не ощущает. Альтернативная гипотеза: среднее количество скачков пульса у пользователей, испытывающих дискомфорт, выше, чем у тех, кто его не испытывает. Нулевая гипотеза была отвергнута (результаты Welch's t-test: $t = –2.067$, $p = 0.0496$), альтернативная гипотеза в исходной формулировке не подтвердилась.

Результаты анализа показали статистически значимую разницу в количестве скачков пульса между группами, однако направление этой разницы не соответствует исходной гипотезе. Участники, не испытывавшие дискомфорт, имели в среднем больше скачков пульса, чем те, кто дискомфорт испытал.

Вторая гипотеза — определение статистически значимой связи между данными пульса и результатами опроса пользователя. Нулевая гипотеза: нет статистически значимой связи между физиологическими изменениями пульса и субъективными результатами опроса. Альтернативная гипотеза: существует статистически значимая связь между данными пульса и результатами опроса пользователя, позволяющая определить, какие действия или моменты VR-сессии вызывают дискомфорт. Результаты анализа показали статистически значимую отрицательную корреляцию между этими переменными: коэффициент Спирмена составил -0.577, а значение p-value = 0.0049.

Альтернативная гипотеза может быть принята, то есть в исследовании выявлена обратная зависимость между физиологическими изменениями пульса и субъективными проявлениями дискомфорта.

Построена линейная регрессионная модель, в которой количество симптомов выступало зависимой переменной, а число скачков пульса — предиктором. Модель показала ограниченную предсказательную силу: коэффициент регрессии = –2.14, свободный член = 6.75, среднеквадратичная ошибка (MSE) = 19.11, а коэффициент детерминации R^2 составил всего 0.167. Это указывает, что ограниченная часть вариации в субъективных оценках может быть объяснена физиологическими параметрами, что подтверждает комплексный и многофакторный характер ощущаемого дискомфорта в виртуальной среде.

Третья гипотеза — анализ связи между изменением артериального давления до и после погружения в VR-среду. Нулевая гипотеза: средние значения артериального давления до погружения в VR не отличаются от значений после погружения. Альтернативная гипотеза: средние значения артериального давления до и после погружения различаются статистически значимо. На основе парного t-теста, проведённого для сравнения артериального давления до и после VR-сессии у 27 участников, не было выявлено статистически значимых различий ни для систолического, ни для диастолического давления. Средние значения продемонстрировали незначительное повышение: с 121.4 до 124.6 мм рт. ст. для систолического давления, и с 85.6 до 87.3 мм рт. ст. для диастолического. Значения p-value (0.1470 и 0.1122) превышают принятый уровень значимости ($\alpha = 0.05$), что указывает на отсутствие оснований для отклонения нулевой гипотезы, а альтернативная гипотеза не подтверждается. Таким образом, значение артериального давления в исследуемой выборке не связано с VR.

Было выявлено незначительное изменение пульса и давления, при этом прямой зависимости от использования VR не выявлено, поскольку анализ показывал, что человеку было некомфортно в процессе прохождения испытания, при этом пульс и давления оставались в норме. В то время, когда пользователь не указывал на дискомфорт, фиксировались значительные изменения пульса и давления, что могло быть вызвано индивидуальными психоэмоциональными показателями конкретного пользователя, так же влиянием внешних факторов на его самочувствие. Таким образом, гипотезы о связи давления/пульса с киберукачиванием в целевой аудитории не является доказанной и использовать её в дальнейшем исследовании не целесообразно.

Результаты анализа опроса пользователей

Исследование включало в анализ две серии испытаний на двух независимых выборках (разные группы студентов). Исследования проводились в мае и сентябре 2025. В первой части исследования приняли участие 27 человек, во второй — 31 человек.

Проведен анализ комфортности комбинаций движений, используемой в тестовом диагностическом

программном обеспечении. В комбинацию объединялись действия с использованием различных методов поворота в виртуальной реальности.

Результаты оценки дискомфорта приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты разбитые по заданиям

Тип действия	**Кол-во участников (%) первой выборки, отметивших дискомфорт**	**Кол-во участников (%) второй выборки, отметивших дискомфорт**
Тест 1		
Поворот в физическом мире	3 (11%)	10 (32%)
Тест 2		
Поворот в VR за счёт контроллеров	11 (41%)	28 (90%)
Тест 3		
1 часть		
Прыжок с высоты в VR, КТ1	9 (33%)	19 (61%)
Взаимодействие и движение с объектом, КТ2	2 (7%)	4 (13%)
Прыжки в VR, КТ3	4 (15%)	14 (45%)
2 часть		
Прыжок с высоты в VR, КТ4	7 (26%)	15 (48%)
Взаимодействие и движение с объектом, КТ5	2 (7%)	1 (33%)
Прыжки в VR, КТ6	4 (15%)	10 (32%)
3 часть		
Прыжок с высоты в VR, КТ7	7 (26%)	16 (52%)
Взаимодействие и движение с объектом, КТ8	2 (7%)	3 (10%)
Прыжки в VR. КТ9	6 (22%)	13 (42%)

На исследуемых выборках видно, что поворот за счет использования контроллеров вызывает дискомфорт для существенной группы участников.

Рассмотрим комфортность восприятия движения «прыжок с высоты с VR», выполненный на трех этапах задания программного обеспечения в разных сочетаниях способов перемещения VR-среды. Численный результаты приведены в виде диаграмм на рис. 5–7.

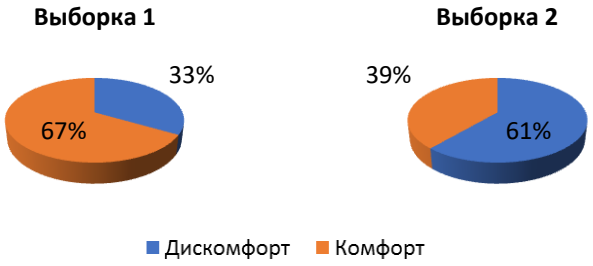

Рисунок 5. Прыжок с высоты с VR в КТ1

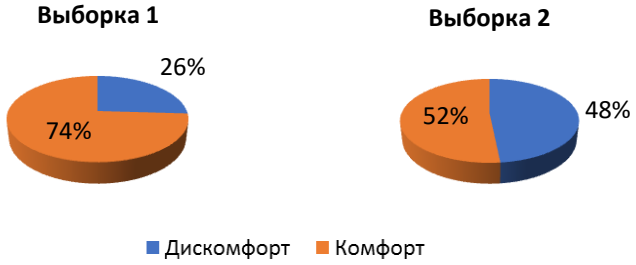

Рисунок 6. Прыжок с высоты с VR в КТ4

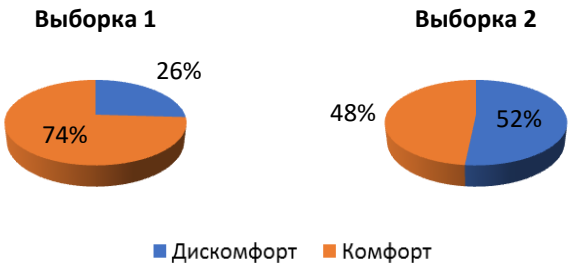

Рисунок 7. Прыжок с высоты с VR в КТ7

В обоих выборках приоритет по комфортности согласуется, наибольший дискомфорт участники первой выборки и второй выборки испытывали при плавном изменении VR-среды, наиболее комфортно прыжок с высоты переносили с использованием технологии реализации «туннельного зрения» (КТ7).

На основании исследований при выполнении прыжка в VR не рекомендуется его выполнять после щелчкового поворота. И в целом, прыжок вызывает дискомфорт у существенной части выборки (примерно четверти всех исследуемых). Рекомендуется добавить в разрабатываемое ПО возможность «обхода» прыжка для чувствительных пользователей или в целом исключить данное действие.

Рассмотрим комфортность восприятия движения «взаимодействие с предметами», выполненный на трех частях третьего теста.

Результаты приведены в виде диаграмм на рис. 8–10.

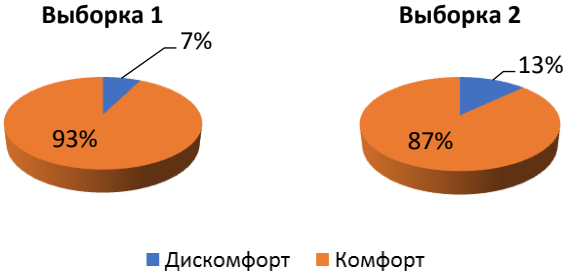

Рисунок 8. Перемещение предмета в КТ2

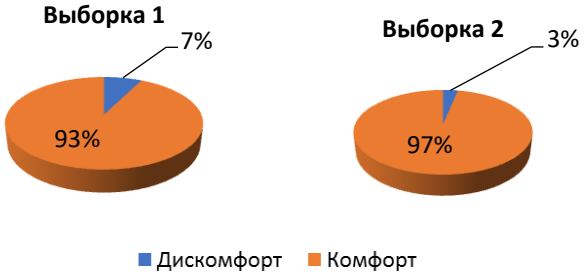

Рисунок 9. Перемещение предмета в КТ5

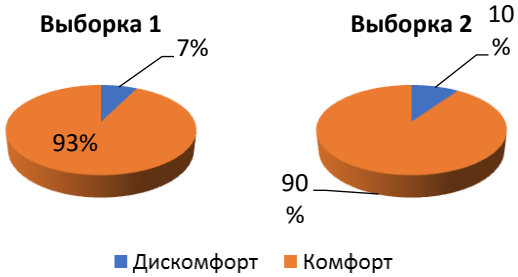

Рисунок 10. Перемещение предмета в КТ8

В первой выборке на всех трёх этапах был зафиксирован одинаковый уровень дискомфорта. В целом, при перемещении с предметом выбор способа визуализации изменения VR-среды не влияет на комфортность. Это

можно объяснить тем, что внимание пользователя сосредоточено на объекте и внешнее окружение воспринимается периферийно.

Рассмотрим комфортность восприятия движения «спуск/подъем по ступенькам лестницы в VR

Результаты приведены в виде диаграмм на рис. 11–13.

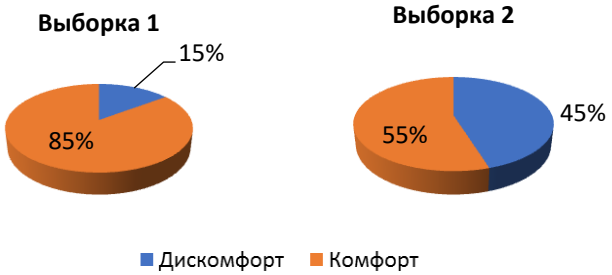

Рисунок 11. Движение по лестнице в КТ3

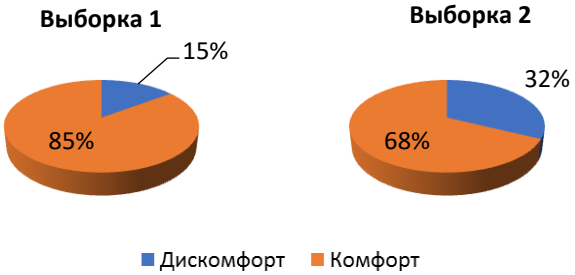

Рисунок 12. Движение по лестнице в КТ6

Рисунок 13. Движение по лестнице в КТ9

На представленных диаграммах видны незначительные различия относительно первой и второй выборки. У первой выборки наиболее дискомфорт вызвал подъем по лестнице с использование реализации «туннельного зрения», во второй выборке — примерно одинаковый дискомфорт испытывают как при плавном перемещении, так и при «туннельном зрении». Таким образом, для реализации подъема по лестнице рекомендуется использовать мгновенное изменение среды на заданный угол. Это может объясниться тем, что перемещение по лестнице может восприниматься как небольшие прыжки в VR.

Таким образом, экспериментальные исследования подтвердили возможность использования разработанного подхода для оценки и обоснованного выбора технологий для VR-приложений. Согласованность данных двух независимых исследований на различных выборках, позволяют сформировать методику исследования комфортности сочетаний технологий реализации перемещений в VR. Методику можно сформулировать в шесть этапов:

1. Реализация программного обеспечения, реализующие возможные варианты взаимодействия с VR-средой.
2. Организация проведения исследований на выборке из целевой аудитории.
3. Проведение контрольных опросов о дискомфортной в заданных контрольных точках.
4. Статистический анализ результатов (возможно, с использованием принятых шкал [11]).
5. Выбор приоритетных реализаций по комфортности пользователей.
6. Формирование рекомендаций для разработки VR-приложений для исследуемой целевой аудитории.

Заключение

При разработке программного обеспечения VR-приложений необходимо обоснованно выбирать для реализации те комбинации перемещения, которые вносят минимальный дискомфорт во время использования приложений с технологий VR.

На основе разработанного программного обеспечения проведены две серии исследований на независимых выборках. Анализ экспериментальных данных позволил установить, что связи с ощущением дискомфорта с давлением и пульсом в целевой аудитории не установлено.

Проведен анализ вариантов перемещений и соответствующих технологий реализации изменения VR-среды, наиболее часто используемые в VR-играх для пользователей студенческого возраста. Было выявлено, что для прыжков в VR, наиболее комфортно реализация «туннельного зрения», при перемещении предмета способ изменения среды не имеет значения, а для спуска по лестнице желательно использовать мгновенное изменение среды. Выявленные способы могут быть объяснены, однако они не очевидны, поскольку во многих исследования предполагалось, что плавное изменение изображение снижает головокружение, в действительности, такое изменение среды с полным разрешением перегружает мозг, который внешнюю среду в значительной степени воспринимает периферийно.

Полученные результаты позволили сформировать соответствующую методику оценки влияния выбора технологий построения среды в VR для комбинаций перемещения, применение которой способно снизить уровень дискомфорта на 10-20%, что в свою очередь позволяет уменьшить киберукачивание.

Дальнейшее развитие исследований может заключаться в использовании шкал оценок дискомфорта, стандартизации методического обеспечения и популяционных и лонгитюдных исследованиях пользователей, соприкасающихся с VR.

Список литературы

1. ГОСТ Р 72027.1–2025 (ISO/IEC TR 23842-1:2020) Информационные технологии в обучении, образовании и подготовке - Руководящие указания по контенту виртуальной реальности с учетом человеческого фактора. Часть 1. Рекомендации по использованию контента виртуальной реальности // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1312600539
2. ГОСТ Р 72027.2–2025 (ISO/IEC TR 23842-2:2020) Виртуальная и дополненная реальность. Руководящие указания по взаимодействию человека и системы. Часть 2. Рекомендации по разработке контента виртуальной реальности // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - URL: https://docs.cntd.ru/document/1312600540
3. Stanney K., Lawson B., Rokers B., Dennison M., Fidopiastis C., Stoffregen T., Weech S., Fulvio J. Identifying causes of and solutions for cybersickness in immersive technology: reformulation of a research and development agenda // International Journal of Human–Computer Interaction. – 2020. – Т. 36, № 19. – С. 1783–1803.
4. Rebenitsch L., Owen C. Estimating cybersickness from virtual reality applications // Virtual Reality. – 2021. – Т. 25. – С. 165–174.
5. Davis S., Nesbitt K., Nalivaiko E. A systematic review of cybersickness // Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment (Newcastle, NSW, Australia, 2–3 December 2014). – New York: Association for Computing Machinery, 2014. – С. 1–9.
6. LaViola J. J. A discussion of cybersickness in virtual environments // SIGCHI Bulletin. – 2000. – Т. 32. – С. 47–56.
7. Kourtesis P., Collina S., Doumas L., MacPherson S. Technological competence is a pre-condition for effective implementation of virtual reality head mounted displays in human neuroscience: a technological review and meta-analysis // Frontiers in Human Neuroscience. – 2019. – Т. 13. – С. 342.
8. Kourtesis P., Papadopoulou A., Roussos P. Cybersickness in virtual reality: the role of individual differences, its effects on cognitive functions and motor skills, and intensity differences during and after immersion // Virtual Worlds. – 2024. – Т. 3, № 1. – С. 62–93. – MDPI.
9. Кашкин Е. В., Копченова Д. А. Методическое и программно-аппаратное обеспечение выявления индивидуального киберукачивания в виртуальной реальности // International Journal of Open Information Technologies. – 2025. – Т. 13, № 3. – С. 65–74.
10. Thun K. Exciting virtual reality statistics in 2024 //URL: https://www.kristofferathun.com/virtual-reality-statistics
11. Oh H., Son W. Cybersickness and its severity arising from virtual reality content: a comprehensive study // Sensors. – 2022. – Т. 22, № 4. – С. 1314.

References

1. GOST R 72027.1–2025 (ISO/IEC TR 23842-1:2020) Information technologies in teaching, education and training. Guidelines for virtual reality content based on the human factor. Part 1. Recommendations for using virtual

reality content // Electronic fund of legal and regulatory documents. URL: https://docs.cntd.ru/document/1312600539

2. GOST R 72027.2–2025 (ISO/IEC TR 23842-2:2020) Virtual and augmented reality. Guidelines on human-system interaction. Part 2. Recommendations for the development of virtual reality content // Electronic fund of legal and regulatory documents. URL: https://docs.cntd.ru/document/1312600540

3. Duzmanska N., Strojny P., Strojny A. Can Simulator Sickness Be Avoided A Review on Temporal Aspects of Simulator Sickness. Front. Psychol., 06 November 2018. Sec. Human-Media Interaction. Vol. 9 - 2018

4. Rebenitsch L., Owen C. Estimating Cybersickness from Virtual Reality Applications. Virtual Real. 2021, 25, P. 165–174.

5. Davis S., Nesbitt K., Nalivaiko E. A Systematic Review of Cybersickness. In Proceedings of the 2014 Conference on Interactive Entertainment, Newcastle, NSW, Australia, 2–3 December 2014; Association for Computing Machinery: New York, NY, USA, 2014; P. 1–9.

6. LaViola J.J. A discussion of cybersickness in virtual environments. SIGCHI Bull. 2000, 32, P. 47–56.

7. Kourtesis P., Collina S., Doumas L., MacPherson S. Technological Competence Is a Pre-condition for Effective Implementation of Virtual Reality Head Mounted Displays in Human Neuroscience: A Technological Review and Meta-Analysis. Front.Hum. Neurosci. 2019, 13, 342.

8. Kourtesis P., Papadopoulou A., Roussos P. Cybersickness in virtual reality: The role of individual differences, its effects on cogni-tive functions and motor skills, and intensity differences during and af-ter immersion. In Virtual Worlds, Vol. 3, No. 1, P. 62-93. MDPI, 2024.

9. Kashkin E., Kopchenova D. Methodical, Software and Hardware for Identifying Individual Cyber Motion Sickness in Virtual Reality // International Journal of Open Information Technologies. 2025. Vol. 13. № 3. P. 65-74.

10. Thun K. Exciting Virtual Reality Statistics in 2024/ URL: https://www.kristofferathun.com/virtual-reality-statistics

11. Oh H., Son W. Cybersickness and its severity arising from virtual reality content: A comprehensive study. Sensors 22, No. 4 (2022): 1314