

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

Е.В. Кашкин, Д.А. Копченова

Аннотация — Широкое распространение технологий виртуальной реальности выявило индивидуальные сложности использования некоторыми пользователями программно-аппаратного обеспечения, связанное с киберукачиванием. Статья посвящена разработке методического, программно-аппаратного обеспечения по выявлению киберукачивания и определению влияния параметров технических решений на восприятие виртуальной реальности. При разработке прикладного программного обеспечения, решение задачи уменьшения киберукачивания и удовлетворения требованиям к скорости работы в настоящее время может решаться только экспериментально. Предложено методическое обеспечение для экспериментального исследования приложений с целью выбора эффективных параметров и технологий. Методика включает в себя два уровня с различными заданиями в виртуальной реальности, каждый уровень направлен на определение степени переносимости с учётом технических характеристик оборудования и способов перемещения. Это позволит на этапе тестирования выявить зависимость значений технологических параметров интерфейсов на их переносимость пользователями. В рамках работы проведено тестовое исследование, демонстрирующее эффективность разработанного обеспечения.

Ключевые слова — киберукачивание, виртуальная реальность, уровень переносимости VR, Oculus Quest 2.

I. ВВЕДЕНИЕ

Технологии виртуальной реальности (VR) получают все большую популярность и доступность, становится все больше отраслей, таких как: медицина, образование, производство, строительство, маркетинг и др., где начинают активно применять эту технологию. В исследовании, проведенном компанией BCC Research, говорится о том, что по итогам 2023 года объем мирового рынка технологий виртуальной реальности составил 21,1 млрд долл. [1]. Широко встречаются тренажеры с использованием VR- технологий. Но при работе с очками виртуальной реальности, не все пользователи могут с эффективно их использовать из-за

физиологических особенностей индивидуальной переносимости погружения в виртуальную реальность. Некоторые пользователи ощущают резкое ухудшения самочувствия в момент взаимодействия с оборудованием, чаще всего это — головокружение, тошнота, головная боль и боль в глазах.

В работах расстройств, связанных с использованием VR-технологиям дано название: *киберукачивание* или, по-другому *киберболезни*, впервые данное определение появилось в исследованиях 1990-х годов.

Одними из причин киберукачивания могут быть связаны с тем, что используемое приложение не соответствует техническим требованиям или в нем присутствуют способы перемещения и способы взаимодействия с виртуальными объектами, которые усложняют восприятие получаемой визуальной информации. Таким образом, необходимо определить: пользователь не переносит VR-технологии из-за индивидуальных особенностей или проблема в конкретном используемом приложении.

На данный момент существует множество различных исследований, в которых рассматриваются причины возникновения киберукачивания: частоте кадров и методам локомоции (технические характеристика приложения), индивидуальным физиологическим особенностям. В [2] рассматриваются факторы, которые вызывают ухудшение физического состояние пользователя в процессе погружения в виртуальную реальность. В работе выделяются следующие факторы: скорость движения, качество графики, продолжительность нахождения в VR. Для уменьшения этих эффектов анализируются различные подходы, включая улучшение графики и интерфейсов. В [3, 4, 5] говорится о том, что индивидуальные различия могут влиять на уровень VR-болезни.

В исследовании [6], проведенном группой ученых из Университета Гренобльских Альп во Франции, было изучено и проанализировано влияние технических характеристик (разрешения, задержки частоты кадров и дрожания объектов VR) на восприятие. В ходе эксперимента участники наблюдали за двумя разными объектами: неподвижной костью и движущейся бабочкой, в то время как значения технических параметров увеличивались или уменьшались. Было установлено, что частота кадров и дрожание при движении больше всего влияли на восприятие

Статья получена 29 января 2025.

Е.В. Кашкин, к. т. н., доцент кафедры КБ-14 «Цифровых технологий обработки данных» РТУ МИРЭА. (e-mail: kashkin@mirea.ru).

Д.А. Копченова, аспирант, преподаватель кафедры КБ-14 «Цифровых технологий обработки данных» РТУ МИРЭА (e-mail: kopchenova@mirea.ru).

участников, при работе с VR. Снижение разрешения или задержки не повлияли на общее восприятие, поскольку ощущение присутствия по-прежнему оставалось сильным, даже если изображение не было кристально чистым, а некоторые детали двух наблюдаемых объектов были различимы с трудом. Частота кадров (FPS) влияет на комфорт пользователя при работе с VR и предотвращает укачивание. Низкая частота кадров может привести к запаздыванию и дрожанию, что приводит к несоответствию между действиями пользователя и психофизиологическим восприятием результатов на основе анализа визуальной информации, что может привести к тошноте и дезориентации. Более высокая частота кадров делает изображение более привлекательным, снижая нагрузку на глаза и минимизируя эффект укачивания. Высокая частота кадров позволяет более точно воспринимать объекты и движения, что в конечном итоге усиливает ощущение присутствия и реалистичность.

Погружаясь в виртуальной реальности, пользователи достаточно часто сталкиваются с проблемой укачивания. Чаще всего это происходит из-за несоответствия между тем, что видят глаза, и тем, что воспринимает внутреннее ухо, отвечающее за равновесие. Этот сенсорный конфликт (возникает, когда органы чувств посылают мозгу противоречивую информацию) может привести к таким симптомам, как головокружение, тошнота и дезориентация, что негативно скажется на общем восприятии виртуальной реальности. При работе с виртуальной реальностью частота кадров 90 кадров в секунду (FPS) считается минимальным требованием для достижения плавного и реалистичного восприятия [7]. Вторым важным фактором качества приложения, используемого VR, являются методы и способы, которые отражают различные действия пользователя в виртуальном пространстве. То, каким образом будет реализовано перемещение игрока, повороты в пространстве, скорость передвижения, процесс взаимодействия с объектами, во многом определяет восприятие пользователя и его дальнейшее состояние. Повороты игрока, когда действие (поворот) осуществляется за счет контроллеров, а не физического поворота головы человека в реальности, могут привести к головокружению и тошноте.

Одним из важных факторов, влияющих на киберукачивание, является *локомоция*. Локомоция в виртуальной реальности — это способы перемещения и взаимодействовать с виртуальным пространством, передвижение пользователя в виртуальной среде с помощью различных технологий и интерфейсов. Локомоция в VR может быть как физической (реальное движение пользователя), так и искусственной (симуляция движения внутри виртуальной среды). Одним из наиболее распространенных вариантов перемещения является телепортация, который заключается в перемещении из одной точки VR в другую. В случае если дополнительно не настроено затемнение экрана и сужение области видимости,

возможно резкое ухудшение самочувствия — головная боль, головокружение, тошнота. В [8] были рассмотрены четыре различных метода виртуальной локомоции. В результате получено, что наименьший уровень киберукачивания наблюдается при использовании метода телепортации с кратковременным эффектом моргания, длившимся 0,2 секунды, имитируя переход от мигания (затемнения экрана) во время каждого события телепортации.

Таким образом, в рассмотренных работах показано, что на индивидуальную непереносимость VR и киберукачивание оказывают влияние технические характеристики настройки устройств, обеспечивающих погружение в VR и программно-аппаратная реализация способов перемещения в VR. Повышение эффективности VR-решений может быть оценено как расширение числа пользователей, способных значительное время использовать VR-приложения без ощущения киберболезней. При этом увеличение качества VR-изображений и технических параметров может вызвать задержку из-за скорости обработки, что не позволяет сформировать единые требования для разработчиков. Решение задачи повышения эффективности в смысле уменьшения киберукачивания и удовлетворения требованиям к скорости работы приложения может решаться только экспериментально.

В этих условиях разработка методического, программно-аппаратного обеспечения для диагностики киберукачивания, основанного на экспериментальном исследовании VR-решений с целью выбора эффективных параметров и используемых технологий, является актуальной задачей.

Целью статьи является разработка методического, программно-аппаратного обеспечения экспериментального исследования VR-приложений, которые позволят на этапе тестирования выявить зависимость значений технологических параметров VR-интерфейсов на их переносимость пользователями и выработки рекомендаций по реализации тестируемого программно-аппаратного VR-решения.

Для проведения исследований разработано тестовое экспериментальное программно-аппаратное VR-решение, которое включает в себя шлем Oculus Quest 2 и разработанное приложение, которое состоит из нескольких этапов взаимодействия с виртуальным миром. Для определения физиологического состояния пользователя будут сформирована методика, на основе замера физиологических параметров и опроса. Исследование позволит сформировать методическое обеспечение расширения группы пользователей, эффективно использующих VR-интерфейсы, на основе совершенствования программной реализации и управления аппаратной частью VR.

Таким образом, исследование позволит определить для тестируемого VR-решения, каким образом изменение технических составляющих и использование различных методов перемещения и взаимодействия с виртуальным миром, позволяют повлиять на уровень погружения и переносимость VR и формировать

рекомендации по использованию технологий.

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАБОРА ФАКТОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе анализа публикаций [2, 8-12], и опыта разработки можно выделить две группы факторов:

технические характеристики и используемые методы, которые влияют на погружение в VR; физиологическая переносимость виртуальной реальности пользователем. Поскольку вторая группа факторов определяется первой, то можно сформулировать задачу выявления индивидуальной зависимости киберукачивания от технологических решений VR.

Сформирован набор технические характеристики, влияющие на восприятие получаемого VR-изображения.

1. Используемый VR шлем: разрешение в очках, производительность. При работе с VR-гарнитурой (различными моделями) у пользователя есть возможность произвести настройку технических параметров, через настройки в приложении для ПК (к примеру, Oculus Link и Oculus Debug Tool — для Oculus Quest 2) или используя сторонние инструменты.

2. Задержка при обмене данными со шлемом. Это может быть вызвано вариантами соединения: кабельное и беспроводное соединение VR шлема с компьютером, уровнем соединения при беспроводном соединении, качеством и характеристиками кабеля при подключении напрямую к компьютеру, а также может влиять не оптимизированное и плохо разработанное ПО;

3. Уровень детализации в приложении/игре — зависит от использования различных высоко полигональных и низко полигональных моделей. Важно отметить, что от того какие модели используются, зависит уровень FPS.

Для анализа предлагается рассматривать следующие параметры:

1) **VAS** — шкала для оценки комфорта или дискомфорта при взаимодействии с VR.

Принятые значения для шкалы VAS [13]:

0 — полный комфорт / отсутствие симптомов (отсутствие головокружения, боли, тошноты и т. д.);

1–3 — незначительный дискомфорт / легкое ощущение (лёгкое головокружение или тошнота, не мешающие нормальной деятельности);

4–6 — умеренный дискомфорт (умеренная тошнота, легкие симптомы motion sickness, небольшой дискомфорт от ношения гарнитуры);

7–9 — сильный дискомфорт (сильная тошнота, выраженные симптомы motion sickness, затруднение в продолжение использования VR);

10 — максимальный дискомфорт / экстремальная боль (выраженная тошнота, головокружение, сильные симптомы motion sickness, невозможность продолжать использование VR).

2) **T** — время погружения в виртуальную реальность, или время нахождения в VR — фиксируется в минутах.

3) **F** — частота кадров (FPS), фиксируется в кадрах в секунду.

4) **HR** — ЧСС, измеряется в ударах в минуту.

5) **PPE (pixels per eye - разрешение гарнитуры)** —

константное значение в рамках эксперимента, определяется техническими характеристиками оборудования.

6) **Connection type** (тип подключения гарнитуры) — константное значение в рамках эксперимента, определяется техническим способом подключения оборудования;

7) **FOV (Field of View — угол обзора)** - константное значение в рамках эксперимента, определяется техническими характеристиками оборудования;

8) **DOF (Degrees of Freedom — отслеживание движений)** - константное значение в рамках эксперимента, определяется техническими характеристиками оборудования;

9) **L (Latency)** — тип задержки в VR, которая измеряется от момента движения пользователем в реальном мире, до момента обновления изображения в гарнитуре. Значение задается в мс.

10) **I** — уровень погружения в виртуальную реальность. Единой шкалы или формы для оценки данного параметра нет. В данной работе будет использоваться комплексная шкала оценки, которая включает в себя четыре технических параметра, которые напрямую влияют на уровень погружения: FPS, FOV, PPE, L.

III. МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Разработана четырехэтапная методика исследования и две локации в VR. В рамках первой локации перед участником стоят задачи: исследование пространства в VR, перенос предметов, выполнение ряда операций (поворот головы в реальности — стоя на месте, поворот головы в реальности в процессе движения персонажа) и взаимодействие с встроенным в VR-приложение интерфейсом.

Методика включает в себя четыре этапа.

I этап. Выявление уровня переносимости VR при программно-аппаратном обеспечении, настроенном с технической точки зрения в соответствии с общими рекомендациями по снижению киберукачивания. У пользователя фиксируются: ощущение комфорта/дискомфорта, ЧСС.

В ходе испытания перед пользователем стоит задача изучить пространство вокруг, не используя контроллер, а посмотрев по сторонам при повороте головы в реальности. Далее необходимо проделать те же действия, но, в процессе движения, используя контроллер. Далее необходимо перенести предметы из одной точки локации в другую. В случае если пользователь на данном этапе почувствовал дискомфорт, это позволяет сделать предварительный вывод о низком уровне переносимости VR.

II этап. Выявление реакции пользователя на метод перемещения (локомоции) с учетом общих рекомендаций к реализации VR-приложений. Фиксируются: ощущение комфорта/дискомфорта, ЧСС.

Испытание позволяет получить информацию о том, как пользователь переносит распространенное перемещение. Пользователю необходимо также

переместить предмет из одной точки локации в другую. В случае если пользователь испытывал дискомфорт из-за перемещения на первом этапе и на втором, это позволяет сделать предварительный вывод о низком уровне переносимости VR.

В случае, если в рамках одной из механик передвижения, пользователь не испытывал дискомфорт и хорошо ориентировался на локации, это говорит, о том, что пользователь переносит VR, но есть необходимость определенной настройки перемещения — под конкретного пользователя.

III этап. Выявление реакции на метод перемещения, который может вызвать киберукачивание. Оцениваются параметры: продолжительность взаимодействия (время нахождения в VR), продолжительность погружения, а параметры, перечисленные в предыдущих этапах.

Значение параметров: продолжительность взаимодействия (время нахождения в VR) — фиксируется с учётом первого и второго этапа. В рамках данного пункта меняется только метод перемещения.

Испытание позволяет погрузить пользователя в условия, при которых есть большая вероятность вызывать эффект киберукачивания. В случае если пользователь не почувствовал дискомфорт при работе на локации длительное время (от 5–15 минут), то можно сделать вывод о том, что пользователь не чувствителен к киберукачиванию, а используемые параметры и методы могут быть применены к решениям, ориентированных на пользователей не страдающих киберболезнями.

IV этап. Определение переносимости погружения в VR с учетом постоянно меняющегося и низкого уровня FPS при взаимодействиях с локацией. Фиксируемые параметры: уровень FPS, ощущение комфорта/дискомфорта, продолжительность взаимодействия, ЧСС.

Перед участником стоит задача попасть в движущийся предмет. Постоянное изменение уровня FPS пользователь может отслеживать через интерфейс, значение выводится на запястье игрока. В случае, если пользователь не почувствовал дискомфорт на протяжении всего испытания, это может указывать на ряд различных факторов: не высокий уровень чувствительности к визуальным эффектам, большой опыт работы с VR, а также может говорить о том, что пользователь не чувствителен к киберукачиванию.

В случае если пользователь ощущает дискомфорт в процессе прохождения — это говорит о том, что есть ряд факторов, которые усиливают эффект киберукачивания и пользователь восприимчив к киберукачиванию.

Для определения параметра — ощущение комфорта/дискомфорта нахождения в VR, в ходе испытания через опрос фиксируется состояние пользователя. Пользователю предлагается 3 варианта ответа: комфортно - нет никаких проблем, есть небольшой дискомфорт, сильный дискомфорт.

Эксперимент включает в себя несколько этапов: анкетирование участников перед началом тестирования и фиксирование показателей, прохождение испытаний с

параллельным фиксированием ряда показателей и дополнительного опроса испытуемого о его состоянии, повторное анкетирование и фиксирование показателей после прохождения испытаний.

Для оценки состояния участника, в ходе эксперимента фиксируются следующие показатели: пульс и давление.

Первая анкета необходима для получения общих сведений об испытуемом для отнесения его к определенному уровню индивидуальной непереносимости и определения физического состояния на данный момент.

В первой анкете выделяется три группы пользователей, для которых результаты будут объединены.

1. те, кто используют VR на постоянной основе;
2. те, кто впервые попробовал работу в VR;
3. те, кто часто работают с VR.

Первая анкета включает в себя следующий ряд вопросов:

Вопрос: как часто вы работаете с VR?

Ответ: постоянно/ редко/никогда не работал

Вопрос: ощущаете ли вы какой-то дискомфорт в данный момент времени?

Ответ: да/нет

Вопрос: Какой дискомфорт на данный момент присутствует? (вопрос появляется в случае, если на прошлый вопрос был ответ - да)

Ответ: в открытой форме

После прохождения первого испытания испытуемый заполняет следующую анкету и производится контрольный замер показателей. Вторая анкета необходима для фиксирования состояния испытуемого.

Вторая анкета включает в себя следующие вопросы:

Вопрос: ощущаете ли вы какой-то дискомфорт после прохождения испытаний?

Ответ: да /нет

Вопрос: Какой дискомфорт на данный момент присутствует? (вопрос появляется в случае, если на прошлый вопрос был ответ - да)

Ответ: в открытой форме

Вопрос: в процессе прохождения испытания ощущали ли вы какой-то дискомфорт?

Ответ: да /нет

Вопрос: Какой дискомфорт Вы ощущаете в процессе прохождения испытания (вопрос появляется в случае, если на прошлый вопрос был ответ - да)

Ответ: в открытой форме

Вопрос: Испытание было пройдено целиком?

Ответ: да /нет

После прохождения второго этапа испытания производится финальный замер показателей и заполняется последняя форма опроса.

Анкета включает в себя такие же вопросы, что и в анкете выше.

IV. ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения эксперимента будет использоваться

следующее аппаратное обеспечение:

- персональный компьютер;
- VR шлем Oculus Quest 2,
- фитнес-браслет HUAWEI Band 8,
- Patient Monitor.

Подключение к ПК осуществляется через кабельное подключение - с использованием кабеля USB-C и дополнительного ПО Oculus Link.

Выбор шлема Oculus Quest 2 обусловлен тем, что данное устройство не зависимо от внешних устройств (подстанций), обладает высокой производительностью, имеет разрешение 1832×1920 пикселей на глаз и частоту обновления 72–90 Гц в зависимости от настроек очков [14]. Угол обзора (FOV) у данной модели - 90°, задержка отображения около 20 мс, система отслеживания — 6DOF.

Фитнес-браслет HUAWEI Band 8 используется для мониторинга частота сердечных сокращений (ЧСС).

Patient Monitor используется для снятия физиологических показателей — артериальное давление и ЧСС.

На рис. 1 представлена общая схема испытаний.

Уровни испытаний в разработанном VR-приложении имеют следующий вид.

На первом уровне, участник попадает на локацию, где он может свободно перемещаться за счет стандартных механик передвижения с учетом поворота головы, уменьшения области обзора и оптимальным уровнем кадровой частоты 90 FPS. Также пользователь может взаимодействовать с предметами, брать в руки и переносить их из одной точки локации в другую. Полная карта уровня представлена на рис. 2.

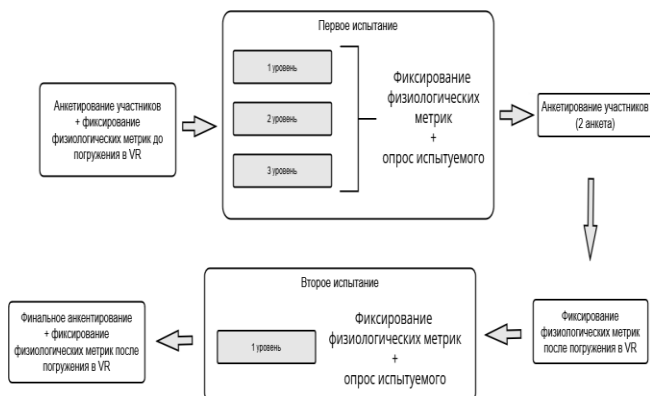


Рис. 1. Схема всех этапов эксперимента

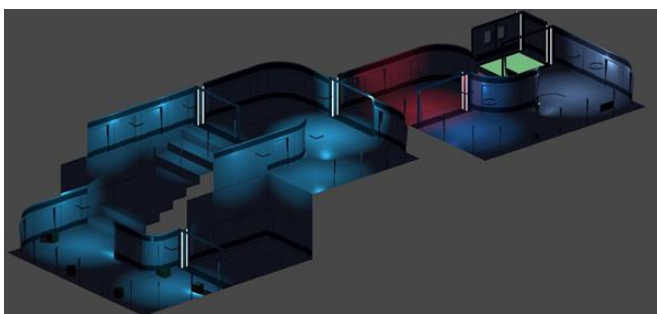


Рис. 2. Карта локации первого уровня

На локацию добавлен минимальный набор предметов,

у которых настроена коллизия.

В рамках данной локации перед участником стоят следующие задачи: исследование локации, перенос предметов, выполнение ряда операций (поворот головы в реальности — стоя на месте, поворот головы в реальности в процессе движения персонажа).

В ходе выполнения заданий в игре будут меняться способы перемещения игрока на локации. На первом испытание пользователь перемещается с использованием контролера, с плавным перемещением (рис. 3).



Рис. 3. Стенды с заданием на первом испытании

На втором испытание перемещение реализовано через телепортацию из одной точки в другую, с затемнения экрана и сужения области видимости. Данный способ перемещения считается наиболее оптимальным, для уменьшения эффекта киберукачивания.

На третьем испытание перемещение реализовано через телепортацию из одной точки в другую, без затемнения экрана и сужения области видимости.

На втором уровне (рис. 4), перед участником будет стоять задача попасть в движущийся предмет. Особенностью данного уровня является тот факт, что на протяжении всего периода нахождения на данном уровне уровень кадровой частоты все время меняется с 90 до 5 FPS.

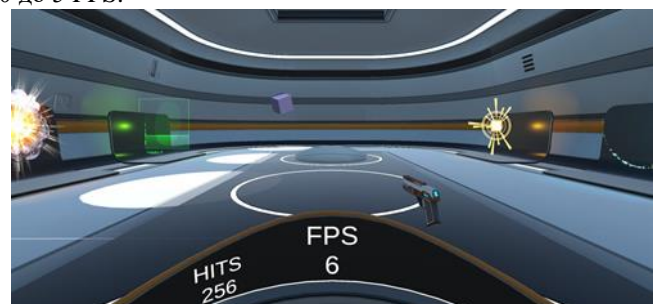


Рис. 4. Локация второго уровня

V. РЕЗУЛЬТАТЫ

Эксперимент проведен в соответствии с разработанным методическим обеспечением. В ходе эксперимента были зафиксированы физиологические показатели и комментарии пользователя, относительно реакции на погружение в виртуальную реальность с учетом различных механик и технических факторов в приложении.

В таблице 1 представлены обобщенные значения для технических параметров гарнитуры.

Табл. 1. Шкала оценки параметров, для определения уровня погружения в VR

Параметр	Низкий уровень	Средний уровень	Высокий уровень
FPS	<60	60-90	>120
FOV	<80°	81°<x<130°	>130°
PPE	~ 800x800	~ 1200x1200	>2000x2000
L	> 50 мс.	20–50 мс	<10 мс

Первая локация, куда попадали пользователи (рис. 5) была направлена на проведение первичного теста на переносимость VR. Так как в рамках данного испытания, от пользователя требовалось произвести ряд действий, используя не только контроллеры для перемещения, но и движения в реальности.

В рамках первой локации на двух этапах использовался метод локомоции, который чаще всего встречается в различных приложениях. Перемещение с использованием контроллеров (с определенной заложеной скоростью) и телепортация с затемнением экрана.

В рамках данного этапа, пользователи отдельно отмечают, какой из видов перемещений наиболее комфортен для них. Комфортность использования выражается в отсутствии или минимальном проявлении симптомов киберукачивания — дискомфорта с стороны испытуемого.

В рамках первой локации перед пользователями стояла задача перенести коробки из одной части локации в другую. На пути у пользователя встречаются такие препятствия как: лестницы, высокая платформа, большое кол-во поворотов.

Высокая платформа, которая встречается на пути у испытуемого, заставляет его сделать шаг вперед с использованием контроллеров и почувствовать падение внутри виртуальной реальности.



Рис. 5. Участник эксперимента

Препятствие в виде лестницы заставляет пользователя, используя контроллеры, активировать команду прыжка в виртуальной реальности.

Все это необходимо для того, чтобы максимально погрузить пользователя в возможные ситуации, с которыми он может столкнуться при работе с симулятором или в игре.

На третьем уровне, использовался метод перемещения, который менее оптимизирован и распространен в приложениях. Данный метод перемещения не подходит пользователем, у которых низкий уровень переносимости VR, так как быстрее вызывает симптомы киберукачивания.

В ходе выполнения данных заданий снимались показатели пульса и проводился опрос испытуемого. После окончания первого испытания, производился повторный замер показателей давления и пульса, а также заполнялась вторая анкета.

Испытание на второй локации позволяет определить, как пользователь будет реагировать на приложение, в котором постоянно меняется FPS.

В ходе тестового проведения эксперимента были выявлены следующие особенности:

- каждый пользователь выбрал свой наиболее удобный вариант передвижения и указывал на необходимость корректировки скорости в большую или меньшую сторону;
- большая часть испытуемых указала на дискомфорт после прыжка с высоты в виртуальной реальности, при прохождении испытания;
- один участник не смог продолжить испытание, после повторного погружения в виртуальную реальность, в связи с высокой степенью дискомфорта и физического недомогания;
- при прохождении второго испытания только несколько пользователей указали на дискомфорт в связи с падением FPS.

Уровень погружения в рамках данного испытания для каждой локации определяется отдельно. Так для первой локации уровень погружения средний, а для второй низкий — это связано с постоянно изменяющимся FPS. Для всех пользователей данные значения являются актуальными, так как уровень погружения оценивался от технических характеристик оборудования и общем изменении FPS на уровне.

Результаты измерения показателей, полученные в ходе испытания, представлены в табл. 2 и 3.

Табл. 2. Замеры пульса и АД при исследовании

№	Использовал VR	Показатели до погружения в VR			Показатели после 1 испытания			Показатели после 2-ого испытания		
		Верхнее	Нижнее	Пульс	Верхнее	Нижнее	Пульс	Верхнее	Нижнее	Пульс
1	Постоянно	128	90	72	136	101	86	126	91	76
2	Редко	112	77	62	135	80	63	122	78	62
3	Редко	144	90	63	140	85	70	128	95	75
4	Редко	133	93	78	127	96	83	130	107	83
5	Редко	110	76	64	119	82	63	-	-	-
6	Постоянно	121	86	72	114	82	68	117	85	70
7	Постоянно	129	85	76	128	92	74	144	111	66
8	Редко	137	96	80	136	99	83	141	94	80

Табл. 3. Результаты тестовых испытаний методического и программно-аппаратного обеспечения

№	Использовал VR	Время прохождения первого испытания Т (мин.)	Испытывал ли какой-то дискомфорт в процессе прохождения первого испытания	VAS	Время прохождения второго испытания Т (мин.)	Испытывал ли какой-то дискомфорт в процессе прохождения второго испытания	VAS
1	Постоянно	9	Нет	0	4	Нет	0
2	Редко	14	Нет	0	3	Нет	0
3	Редко	7	Да	1	4	Нет	0
4	Редко	8	Да	5	5	Да	4
5	Редко	7	Да	7	-	-	-
6	Постоянно	6	Нет	0	3	Нет	0
7	Постоянно	8	Нет	0	3	Нет	0
8	Редко	10	Да	2	4	Нет	0

Для прохождения первого уровня, пользователем требовалось от 6 до 14 минут. На втором уровне от 3 до 5 минут. На основе полученных результатов в дальнейших исследованиях следует внести следующие корректировки: фиксировать время прохождения каждого этапа, для более точного определения точки ухудшения состояния пользователя, а также внести временные ограничения на минимальное время нахождения на втором уровне.

Полученные результаты на втором уровне позволяют сделать вывод, что при нахождении на локации с низким или постоянно меняющимся FPS непродолжительного времени (не более 5 минут), пользователи могут не испытывать дискомфорта.

На основе различных исследований, было определено 3 группы пользователей. В испытании на малой выборке были задействованы пользователи, относящиеся только к двум группам: кто использует VR на постоянной основе и кто часто работает с VR.

Из результатов видно, что в ходе испытания у пользователя не значительно менялись значения артериального давления и пульса, что может быть вызвано — изменением визуальной составляющей и адаптацией в новом цифровом пространстве.

Результаты исследования показывают, что разработанная методика позволяет выявлять киберукачивание. Один участник испытания из тех, кто постоянно работает с VR испытывал дискомфорт в процессе прохождения испытания. Это могло быть вызвано тем, что в ходе данного испытания после каждого выполненного задания менялся способ перемещения.

Ряд пользователей отметили, что им комфортнее, когда перемещение в игре реализовано с использованием телепортации. Другая часть пользователей отметила, что скорость движения персонажа достаточно низкая или наоборот высокая и им хотелось бы иметь возможность самостоятельно ее определять.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной работы было сформировано методическое и создано программно-аппаратное обеспечение экспериментального исследования VR-приложений, которые позволят в ходе экспериментального тестирования выявить зависимость значений технологических параметров VR-интерфейсов на их переносимость пользователями. Методика включает в себя 2 локации в VR с различным уровнем технической оптимизации. Была проведена пробная апробация обеспечения на малой выборке. Результаты показали эффективность предложенных положений.

В рамках пробного эксперимента, нельзя сказать о сильном изменении физиологических показателей в ходе погружения в VR и после прохождения уровня. Нет значительных изменений показателей среди пользователей, которые постоянно работают с VR и тех, что редко взаимодействуют. Передвижение пользователя в игре — индивидуальный вопрос, так как

все пользователи по-разному реагируют на различные варианты перемещения.

В рамках методики смоделированы ситуации плохо реализованной способы перемещения (в третьей части первого испытания) и проблем с техническими характеристиками приложения (низкий FPS). Это позволило провести оценку реакций пользователей на изменения. В случае, когда пользователь спокойно реагировал на различные способы передвижения и резкое изменение FPS, можно отметить тот факт, что испытуемый нормально переносит VR и в случае использования его в дальнейшем, не должен столкнуться с проблемами укачивания, в случае хорошо реализованного приложения. Те пользователи, которые почувствовали недомогание уже на первых двух этапах — должны быть отнесены к группе лиц, у которых плохая переносимость VR, которая не связана с техническими характеристиками приложения и может быть вызвана физиологическими особенностями отдельно взятого человека.

В следующих исследованиях, необходимо провести статистически значимые исследования и разработку методик определения уровня вовлеченности [14] пользователей.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Virtual Reality Technologies: Global Markets. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bccresearch.com/market-research/information-technology/virtual-reality-technologies-global-market.html>
- [2] LaViola Jr, Joseph J. "A discussion of cybersickness in virtual environments," *ACM Sigchi Bulletin*, vol., 32, no. 1, p. 47-56, 2000.
- [3] M. S. Dennison, A. Z. Wisti, M. D'Zmura. "Use of physiological signals to predict cybersickness," *Displays*, vol. 44, p. 42-52, 2016.
- [4] G. Llorach, A. Evans, J. Blat. "Simulator sickness and presence using HMDs: comparing use of a game controller and a position estimation system." In *Proc. of the 20th ACM symposium on virtual reality software and technology*, pp. 137-140, 2014.
- [5] D. George, R. Park, A. Wad, D. Fiorentino, T. J. Rosenthal, M. L. Cook. "Simulator sickness scores according to symptom susceptibility, age, and gender for an older driver assessment study." In *Proc. of the human factors and ergonomics society annual meeting*, vol. 50, no. 26, p. 2702-2706, 2006.
- [6] T. Louis, J. Troccaz, A. Rochet-Capellan, F. Bérard. "Is it real? measuring the effect of resolution, latency, frame rate and jitter on the presence of virtual entities,". In *ACM ISS 2019 - Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, Séoul, South Korea. Nov 2019,
- [7] Why Does VR Need 90 FPS: Understanding the Importance of Frame Rate in Virtual Reality [Электронный ресурс]. URL: <https://iqplanner.com/why-does-vr-need-90-fps/>
- [8] A. Mostafavi, Z. Qiu, T. B. Xu, and S. Kalantari. "Impact of Translation and Viewpoint Transition Methods in VR on Spatial Learning and Cybersickness." arXiv preprint arXiv:2410.20675 (2024)
- [9] P. Kourtesis, A. Papadopoulou, P. Roussos. "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*, vol. 3, no. 1, pp. 62-93, 2024.
- [10] H. Oh, W. Son. "Cybersickness and its severity arising from virtual reality content: A comprehensive study." *Sensors*, vol. 22, no. 4, p. 1314, 2022.
- [11] J. P. Stauffert, F. Niebling, M. E. Latoschik. "Latency and cybersickness: Impact, causes, and measures. A review," *Frontiers in Virtual Reality*, vol. 1, p. 582204, 2020.
- [12] N. Tian, P. Lopes, R. Boulic. "A review of cybersickness in head-mounted displays: raising attention to individual susceptibility," *Virtual Reality*, vol. 26, no. 4, p. 1409-1441, 2022.

- [13] Oculus Quest 2. [Электронный ресурс]. URL: https://virtuality.club/store/shlemy_i_ochki_vr_ar_mr/avtonomnie-vrochki/avtonomnij-vr-shlem-oculus-quest-2-128gb/
- [14] Е.В. Никульчев, А.А. Гусев, Н.Ш. Газанова, Ш.Г. Магомедов “Контроль вовлеченности в интерактивное взаимодействие пользователя образовательных веб-сервисов на основе анализа реакций,” Современные информационные технологии и ИТ-образование, vol. 19, no. 2, p. 489-497, 2023.

Methodical, Software and Hardware for Identifying Individual Cyber Motion Sickness in Virtual Reality

E.V. Kashkin, D.A. Kopchenova

Abstract: The widespread use of virtual reality technologies has revealed individual difficulties in the use of software and hardware by some users associated with cyber motion sickness. The article is devoted to the development of methodological, software and hardware support for identifying cyber sickness and determining the influence of technical solution parameters on the perception of virtual reality. When developing application software, the problem of reducing cyber sickness and meeting the requirements for operating speed can currently only be solved experimentally. Methodological support for an experimental study of applications in order to select effective parameters and technologies is proposed. The methodology includes two levels with different tasks in virtual reality; each level is aimed at determining the degree of portability, taking into account the technical characteristics of the equipment and methods of movement. This will allow at the testing stage to identify the dependence of the values of technological parameters of interfaces on their portability by users. As part of the work, a test study was conducted demonstrating the effectiveness of the developed software.

Keywords - cyber motion sickness, virtual reality, VR portability level, Oculus Quest 2

REFERENCES

- [1] Virtual Reality Technologies: Global Markets. [Online]. Available: <https://www.bccresearch.com/market-research/information-technology/virtual-reality-technologies-global-market.html>
- [2] LaViola Jr, Joseph J. "A discussion of cybersickness in virtual environments," *ACM Sigchi Bulletin*, vol., 32, no. 1, p. 47-56, 2000.
- [3] M. S. Dennison, A. Z. Wisti, M. D'Zmura. "Use of physiological signals to predict cybersickness," *Displays*, vol. 44, p. 42-52, 2016.
- [4] G. Llorach, A. Evans, J. Blat. "Simulator sickness and presence using HMDs: comparing use of a game controller and a position estimation system." In *Proc. of the 20th ACM symposium on virtual reality software and technology*, pp. 137-140, 2014.
- [5] D. George, R. Park, A. Wad, D. Fiorentino, T. J. Rosenthal, M. L. Cook. "Simulator sickness scores according to symptom susceptibility, age, and gender for an older driver assessment study." In *Proc. of the human factors and ergonomics society annual meeting*, vol. 50, no. 26, p. 2702-2706, 2006.
- [6] T. Louis, J. Troccaz, A. Rochet-Capellan, F. Bérard. "Is it real? measuring the effect of resolution, latency, frame rate and jitter on the presence of virtual entities,". In *ACM ISS 2019 - Conference on Interactive Surfaces and Spaces*, Séoul, South Korea. Nov 2019, 10.1145/3343055.3359710
- [7] Why Does VR Need 90 FPS: Understanding the Importance of Frame Rate in Virtual Reality [Online]. Available: <https://iqplanner.com/why-does-vr-need-90-fps/>
- [8] A. Mostafavi, Z. Qiu, T. B. Xu, and S. Kalantari. "Impact of Translation and Viewpoint Transition Methods in VR on Spatial Learning and Cybersickness." arXiv preprint arXiv:2410.20675 (2024)
- [9] P. Kourtesis, A. Papadopoulou, P. Roussos. "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*, vol. 3, no. 1, pp. 62-93, 2024.
- [10] H. Oh, W. Son. "Cybersickness and its severity arising from virtual reality content: A comprehensive study." *Sensors*, vol. 22, no. 4, p. 1314, 2022.
- [11] J. P. Stauffert, F. Niebling, M. E. Latoschik. "Latency and cybersickness: Impact, causes, and measures. A review," *Frontiers in Virtual Reality*, vol. 1, p. 582204, 2020.
- [12] N. Tian, P. Lopes, R. Boulic. "A review of cybersickness in head-mounted displays: raising attention to individual susceptibility," *Virtual Reality*, vol. 26, no. 4, p. 1409-1441, 2022.
- [13] Oculus Quest 2. [Online]. Available: https://virtuality.club/store/shlemy_i_ochki_vr_ar_mr/avtonomnie-vrochki/avtonomnij-vr-shlem-oculus-quest-2-128gb/
- [14] E.V. Nikulchev, A.A. Gusev, N.S. Gazanova, S.G. Magomedov, *Modern Information Technologies and IT education*, vol. 19, no. 2, p. 489-497, 2023 [In RUS]

About of authors:

E. V. Kashkin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department KB-14 «Digital Technologies of Data Processing» of RTU MIREA. (e-mail: kashkin@mirea.ru).

D. A. Kopchenova, graduate student, lecturer Department of KB-14 «Digital Technologies of Data Processing» of RTU MIREA. (e-mail: kopchenova@mirea.ru).