

УДК 159.9.072.2, 159.96

КИБЕРЗАБОЛЕВАНИЕ В СИСТЕМАХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ: КЛЮЧЕВЫЕ ФАКТОРЫ И СЕНСОРНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ¹

© 2020 г. А. Е. Войскунский^{1,*}, О. В. Смылова^{2,**}

¹Факультет психологии МГУ им. М.В. Ломоносова;
125009, г. Москва, ул. Моховая, д. 11, Россия.

²Корпорация UserLytics; 94404, Фостер Сити, Калифорния, США.

*Кандидат психологических наук, ведущий научный сотрудник.

E-mail: vae-msu@mail.ru

**Кандидат психологических наук, аналитик.

E-mail: olga@smyslova.com

Поступила 08.10.2018

Аннотация. Проведен обзор исследований, посвященных феноменам киберзаболевания, известного также как симуляторное расстройство. Киберзаболевание, или виртуальное укачивание это состояние, сходное с “морской болезнью”, при котором пользователь виртуальной среды ощущает головную боль, головокружение и нарушение ориентации в пространстве, сухость во рту, напряжение глаз и нарушение концентрации внимания и т.п. Подобная феноменология сопровождает практику применения компьютерных систем виртуальной или дополненной реальности. Анализируются факторы, предположительно способствующие возникновению киберзаболевания, в том числе технические характеристики систем виртуальной реальности, индивидуальные особенности пользователей таких систем, специфика выполняемых людьми задач, включая феномены присутствия и ситуации многозадачности. В качестве перспективного направления поиска одной из вероятных первопричин киберзаболевания подробно обсуждается проблематика, связанная с психологическими механизмами интеграции мультисенсорной информации. Данная исследовательская область активно развивается в течение последних двух десятилетий и связана с созданием (в том числе с применением методологии виртуальной реальности) сенсорных иллюзий (зрительных, слуховых, тактильных, кинестетических) и с регистрацией поведения людей в ситуациях, когда образ тела представляется им измененным. Соответствующие феномены получили метафорические наименования “внетелесный (*out-of-body*) опыт” или “резиновая рука”. Рассматриваются перспективные мероприятия, направленные на снижение вероятности наступления киберзаболевания.

Ключевые слова: виртуальная реальность, иммерсия, симуляторное расстройство, укачивание, киберзаболевание, чувство присутствия, интеграция сенсорных сигналов, внетелесный опыт.

DOI: 10.31857/S020595920007882-6

Данная статья представляет собой продолжение ранее опубликованной статьи [9], в которой были подробно рассмотрены феномены нередко возникающего при применении систем виртуальной реальности (ВР) так называемого киберзаболевания, или виртуального укачивания (*VR sickness*, *VE sickness*, *cybersickness* и др.). Оно сопровождается ощущениями нарушения ориентации в пространстве, головокружения, напряжения глаз и нарушения концентрации внимания, тошноты и рвоты,

сухости во рту; затрудняется выполнение отдельных моторных действий. Симптоматика сходна с укачиванием во время морского путешествия, поездки на машине или полета в самолете. Наряду с принятым в предшествующей статье [9] наименованием “киберзаболевание” широко применяются также термины “симуляторное расстройство” или “векция”. Симптоматика и конкурирующие между собой теории происхождения киберзаболевания, а также методы его измерения рассмотрены в [9].

В настоящей статье анализируются личностные факторы, предположительно способные воздействовать на появление симптомов киберзаболевания, а также возможная роль технологических

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-18-00365 “Цифровая социализация в культурно-исторической перспективе: внутрипоколенческий и межпоколенческий анализ”, МГУ им. М.В. Ломоносова).

элементов, обеспечивающих погружение (иммерсию) в виртуальную реальность. Кроме того, делается попытка связать симптоматику киберзаболевания с исследовательским направлением, в рамках которого системы ВР применяются для создания у испытуемых иллюзорного, аутоскопического или так называемого внетелесного опыта. Итогом обсуждения специфических особенностей работы психологических механизмов, обеспечивающих интеграцию сенсорных сигналов, является гипотеза о конкретной локализации имеющегося в головном мозге центра мультисенсорной интеграции, тщательный анализ которого предположительно будет способствовать расширению знаний о психологических механизмах, ответственных в том числе за возникновение киберзаболевания.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КИБЕРЗАБОЛЕВАНИЕ

Неоднократно показано, что киберзаболеванию чаще подвержены женщины, чем мужчины [1; 30]. В качестве причин называют гормональные и сенсорные (например, ширина поля зрения) особенности, предубеждение к технологиям, склонность не только фиксировать проявления дискомфорта, но и реагировать на них, в том числе вербально [18]. Киберзаболеванию чаще подвержены дети до 12 лет и люди старше 30 лет, а также те, кого быстрее «укачивает» в транспорте [19]. Все чаще предпринимаются попытки разработать модель, предсказывающую степень киберзаболевания у конкретных групп пользователей в конкретных условиях [37]. Среди групп факторов, влияющих на степень киберзаболевания, называют технические особенности системы ВР, индивидуальные особенности пользователя, особенности задач, выполняемых пользователем [13]. Вполне вероятно, в ближайшее время их количество увеличится.

ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ НА КИБЕРЗАБОЛЕВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ ПОГРУЖЕНИЯ В ВИРТУАЛЬНУЮ РЕАЛЬНОСТЬ

Трудно не обратить внимание на технические характеристики систем ВР. Действительно поначалу дисплеи сильно уступали современным в плане частоты обновления экрана: это вело к мерцанию и запаздыванию изображения [23; 42], т.е. к сенсорному конфликту и отсутствию ориентации в пространстве, что нередко выражалось

в головокружении. Но при доступности высококачественного оборудования: видеокарт, шлемов, очков ВР — вопрос о зависимости степени киберзаболевания от типа дисплея утратил актуальность [21; 43].

Шлемы ВР получили более широкое распространение, чем системы типа *CAVE*, проецирующие изображение на круговые экраны или прямо на стены помещения. *CAVE* используются обычно в условиях лабораторного эксперимента [3; 6; 28]. В условиях сравнительного исследования степени киберзаболевания при использовании шлема ВР или при проецировании изображения на стены помещения было показано, что в первом случае (шлем ВР) симптомы киберзаболевания ощущаются сильнее, чем в *CAVE* [28; 29; 35; 38]. Шлемы и очки новейших моделей не снижают риск киберзаболевания в сравнении с более старыми моделями [39].

ЗАВИСИМОСТЬ КИБЕРЗАБОЛЕВАНИЯ ОТ ЗАДАЧ И СТИМУЛОВ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМ СИСТЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Естественно предположить, что чем сильнее расхождение между реальным положением в пространстве и двигательной активностью пользователя, с одной стороны, и его деятельностью в рамках виртуального мира вместе с иллюзией движения в этом мире, с другой стороны, тем скорее наступит киберзаболевание и тем в большей степени будут выражены соответствующие симптомы. Имеются исследования, которые свидетельствуют в пользу такого предположения.

Так, зафиксирована обратная связь между киберзаболеваемостью и реалистичностью картины виртуального мира [33; 39]. Наряду с реалистичностью предлагается параметр сенсорной точности (*sensory fidelity*), под которым имеется в виду степень близости между объектами внешнего мира и отображаемой на мониторах сенсорной информацией [18]. На основе изучения факторов, связанных с быстротой ротации сцен, предъявляемых испытуемым пожилого возраста, разработана система предупреждения пользователя о возможных изменениях в самочувствии, в том числе об опасности наступления киберзаболевания [26]. Разрабатывается шкала оценки вероятности киберзаболевания в ситуациях быстрого и необычного, своего рода исключительного (*exceptional*) перемещения в виртуальном мире [22].

Своеобразным катализатором киберзаболевания может служить степень ощущения человеком присутствия (*presence*) [2; 4; 5] в ВР. Как субъективный параметр, оно противостоит сенсорной точности — параметру объективному. Так, проведено сравнение ощущений присутствия и симптомов киберзаболевания в трех ситуациях: простое наблюдение, “американские горки” и интерактивная игра в мяч; в условиях имитации “американских горок” испытуемых укачивало сильнее всего [34]. Эмоциональные переживания (в отличие от общего возбуждения [44]) оказывают влияние и на киберзаболеваемость, и на чувство присутствия. Результаты исследования, затрагивающего вопрос многозадачности (*multitask*), в меньшей степени согласуются с имеющимися данными: ставилась задача изучить связь между многозадачностью и степенью укачиваемости при учебных тренировках авиадиспетчеров на симуляторе полетов. Как и было предсказано, одновременное решение нескольких задач (что характерно для диспетчеров) связано с увеличением показателей тошноты [10].

ВЛИЯНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ НА ПОДВЕРЖЕННОСТЬ КИБЕРЗАБОЛЕВАНИЮ

Показано, что чем старше люди, тем в большей степени они подвержены киберзаболеванию [22]. Люди без опыта компьютерных игр также чаще сталкиваются с киберзаболеванием, чем опытные игроки. Ширина индивидуального поля зрения (чем оно шире, тем сильнее эффект мерцания) и плохое самочувствие также оказывают влияние на укачиваемость во время погружения в ВР. Отмечается, что активное движение и управление виртуальной ситуацией снижают вероятность киберзаболевания.

Данный вывод прошел проверку при сравнении эффектов киберзаболеваемости в нескольких группах профессиональных спортсменов: фигуристов, футболистов, спортсменов по ушу, а в качестве контрольной группы выступали люди, не занимающиеся спортом профессионально [7; 28]. Стимуляция осуществлялась с помощью установки *CAVE*. В качестве индикатора выраженности иллюзии движения собственного тела (на самом деле неподвижного) были использованы показатели движения глаз (количество фиксаций, морганий и саккад, амплитуда саккад) и ответы участников на “Опросник симуляторных расстройств”. Наиболее развитой функциональной сенсорной системой, позволяющей оптимизировать психофизиологическое

состояние и поведение в визуальной движущейся виртуальной среде, обладают фигуристы: у них формируется нечто вроде “чувства льда”. По мнению авторов, виртуальная среда оказывается методом проверки уровня работы механизмов интеграции мультисенсорной информации. Подробнее на этом остановимся в следующем разделе.

Не найдена связь между индивидуально-психологическими характеристиками и киберзаболеваемостью в случае коротких (до 7 минут) сессий [27]. При изучении возможного влияния индивидуальных характеристик пользователей на степень их укачиваемости в виртуальных средах самыми надежными предикторами киберзаболеваемости оказались прошлый опыт укачивания в транспорте и игровой компьютерный опыт [34]. Компьютерные игры “от первого лица” (чаще всего шутеры), в которых особенно велика вероятность сенсорного конфликта, скорее могут спровоцировать киберзаболевание, чем игры, в которых игрок следит за персонажами “сбоку” [39]. У психически здоровых людей тревожность частично обуславливает киберзаболевание [32], а у пациентов с психическими отклонениями повышенная тревожность не влечет за собой высокую киберукачиваемость [35]).

Сложно говорить о приеме алкоголя как об индивидуальной характеристике, однако проведено исследование влияния алкоголя на киберзаболеваемость: содержание алкоголя в крови свыше 0.07% снижает симптомы укачивания, а не ухудшает их [19].

Таким образом, несмотря на наличие индивидуальных характеристик, коррелирующих с киберзаболеваемостью, представляется возможным ослабить соответствующие эффекты с помощью специальных тренировок — спортивных или с использованием компьютерных игр.

ИНТЕГРАЦИЯ СЕНСОРНЫХ СИГНАЛОВ

Проблематика интеграции сенсорных сигналов стала центральной в формирующейся области исследований, которая граничит с изучением поведения человека в виртуальных мирах. Эта исследовательская область связана с сенсорными иллюзиями и регистрацией поведения людей в ситуациях, когда образ тела представляется им измененным [12]. Ведущим исследователем “внетелесного” (*out-of-body*) опыта и иллюзии “обмена телами” (*body-swap*) является Г. Эршон [16; 17; 31]; анализ такого

рода исследований представлен в русскоязычной литературе [5; 8].

Описанная 20 лет назад “иллюзия резиновой руки” [14] отлична от фантомного ощущения наличия дополнительных конечностей (эффектов псевдополимии, или “чужой руки”): в последнем случае такого рода ощущения связаны с поражениями головного мозга и/или с тяжелыми травмами. Сравнительно легко вызываемая у здоровых людей иллюзия открыла дорогу к дальнейшему изучению процессов интеграции сенсорных воздействий в единый образ тела. С помощью технологий ВР стало возможно изучать особенности видоизменения перцептивных механизмов восприятия — вплоть до иллюзорного — людьми собственного тела [12]. Сенсомоторные и зрительные сигналы, сообщая информируя о положении тела в пространстве, побуждают организм реагировать на отклонения: иллюзорные либо предположительно связанные с морской болезнью, имитацией невесомости, киберзаболеванием.

Для возникновения “иллюзии резиновой руки” перед человеком размещается на ровной поверхности резиновый муляж руки, в то же время одна из его рук скрывается за ширмой или накрывается тканью (кроме случаев генерации иллюзии “третьей руки” — тогда руку не прячут). И настоящая рука, и резиновая располагаются параллельно друг другу. Далее следует серия синхронных прикосновений кисточками к одному и тому же месту на настоящей и на резиновой руке: человек ощущает тактильную стимуляцию скрытой от него/нее руки и видит, как стимулируется муляж руки. В результате через короткое время он начинает ощущать резиновую руку как собственную, о чем свидетельствуют как отчеты о субъективных ощущениях, так и эффекты проприоцептивного смещения: например, он/она будет пытаться ошибочно указывать с закрытыми глазами на муляж как на свою руку; оценивать расстояние до другого предмета не от своей настоящей руки, а от резинового муляжа; температура спрятанной руки понизится; при имитации попытки повреждения резиновой руки ножом или иголкой последует психофизиологическая реакция (как правило, фиксируется повышение КГР) [11; 14]. Суть феномена “резиновой руки” составляет субъективное ощущение ее как своей руки (проверяется вербальным отчетом) *в единстве* с проприоцептивным смещением, даже несмотря на то, что при недостаточно синхронной стимуляции данные самоотчета и объективные показатели могут не всегда совпадать [36].

Для создания иллюзии “третьей руки”, или “резиновой руки”, вообще говоря, не требуется

погружать человека в виртуальный мир. В экспериментах Г. Эршона и его последователей [17; 31; 40] применяется шлем виртуальной реальности; например, для создания “иллюзии обмена телами” (*body-swap*) две близкорасположенные видеокамеры (как бы соответствующие левому и правому глазу) устанавливают на голове человекоподобного манекена, эти камеры направлены вниз и снимают туловище манекена от плеч до колен и передают визуальные сигналы на мониторы в шлеме участника (также отдельно в каждый глаз). Получается, что он созерцает корпус “слегка опустившего глаза” манекена вместо собственного тела и ближайших к нему элементов среды. При синхронных прикосновениях к животу участника (он этого не видит) и животу манекена (он это видит) он вскоре начинает воспринимать “тело” манекена как свое. Это проверяется в постэкспериментальных беседах и опросах, а когда по животу манекена проводят ножом (человек это видит), у участника наблюдается характерная эмоциональная реакция (изменение КГР).

Для вызывания “опыта внетелесного существования” (*out-of-body-experience*) респондент в шлеме виртуальной реальности наблюдает пространство за собой: размещенные в паре метров позади человека видеокамеры показывают его собственную спину. При синхронных прикосновениях к реальному телу и к “иллюзорному телу” он наблюдает прикосновение к пустому участку (там, где должно было бы находиться его тело, если бы он стоял или сидел там, где расположены видеокамеры) и вместе с этим чувствует прикосновения к своему реальному телу. Через несколько минут он начинает ощущать эффект “*out-of-body*”: он как бы сзади наблюдает за самим собой [12; 16; 24].

Иллюзия закрепляется, когда ассистент *синхронно* прикасается к телу человека (он это чувствует) и к тому же месту у манекена, другого человека или даже пустого пространства. Если ритмы прикосновений не совпадают, то иллюзорные эффекты выражены существенно слабее или совсем не выражены. Таким образом, синхронность стимуляции является важным моментом для возникновения телесных иллюзий, как и объединение разных сенсорных модальностей, таких как зрительное и тактильное восприятие (имеются также исследования, в которых участвует слуховое восприятие). К числу других существенных или желательных факторов отечественные авторы [8] относят параллельное расположение искусственного объекта относительно реальной части тела, ограничение его размера, антропоморфность (действительно эффект не проявляется, если вместо

манекена видеокамеры показывают большую картонную коробку, не похожую на человеческое тело). Хотя опора на две или более модальности не является непереносимым условием, возникновение телесных иллюзий представляется связанным с мультисенсорной интеграцией стимулов (зрительных, слуховых, тактильных, кинестетических) — пусть противоречивых, но при этом синхронизированных [8; 12].

Есть основания предполагать, что одна из причин киберзаболевания — рассогласование стимуляции, нарушение вышеназванной интеграции, т.е. те процессы, которые удается успешно моделировать в рассмотренных в данном разделе исследованиях. Тем самым вопросы о том, как именно формируется образ тела и, соответственно, как это происходит в виртуальном пространстве, какие механизмы сенсорной интеграции участвуют в формировании иллюзорных образов при применении систем виртуальной реальности, что конкретно мешает, а что способствует целостности этих образов, являются ключевыми для специалистов по разработке виртуальных миров.

Самое интересное — где именно производится мультисенсорная интеграция. Действительно данный вопрос волнует специалистов в области философии, нейрофизиологии, анатомии головного мозга, нейропсихологии, киберпсихологии, медицинского протезирования [5; 12; 15; 25; 41]. Ведь мультисенсорная интеграция справедливо связывается с Я-концепцией, самосознанием, образом тела и построением движений, автобиографической памятью, самоощущением, в конечном счете — с сознанием. При всей пластичности мозга специалисты склонны картировать центр мультисенсорной интеграции в районе мозговой извилины задней части теменной доли (*angular gyrus*). Нарушения в данной области — в частности, так называемый синдром Герстмана — связаны с недостаточным пониманием схемы собственного тела и, помимо прочего, с право-левой дезориентацией. Извилины *angular gyrus* ассимилирует поступающие сигналы разной модальности и перерабатывает их, что обеспечивает процессы дальнейшего осознания и понимания себя и окружающего пространства [20].

Учитывая высокую исследовательскую активность в рассматриваемой области научных поисков, вполне вероятно, что в ближайшем будущем указанная выше локализация будет уточнена. Как бы то ни было, привязка проблематики киберзаболевания к проблематике “внетелесного” опыта представляется перспективной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авербух Н.В.* Психологические аспекты феномена присутствия в виртуальной среде // Вопросы психологии. 2010. № 5. С. 105–113.
2. *Авербух Н.В., Щербинин А.А.* Феномен присутствия и его влияние на эффективность решения интеллектуальных задач в средах виртуальной реальности // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2011. Т. 8. № 4. С. 102–119.
3. Архитектура виртуальных миров / Под ред. М.Б. Игнатъева, А.В. Никитина, А.Е. Войскунского. СПб.: Изд-во ГУАП, 2009.
4. *Величковский Б.Б.* Психологические факторы возникновения чувства присутствия в виртуальных средах // Национальный психологический журнал. 2014. № 3 (15). С. 31–38.
5. *Войскунский А.Е.* Психология и Интернет. М.: Акрополь, 2010.
6. *Ковалев А.И., Климова О.А.* Диагностика устойчивости вестибулярной функции спортсменов с применением технологии виртуальной реальности // Спортивный психолог. 2017. Т. 46. № 3. С. 4–9.
7. *Ковалев А.И., Меньшикова Г.Я., Климова О.А., Барбанищкова В.В.* Содержание профессиональной деятельности как фактор успешности применения технологий виртуальной реальности // Экспериментальная психология. 2015. Т. 8. № 2. С. 45–59.
8. *Перепелкина О.С., Арина Г.А., Николаева В.В.* Телесные иллюзии: феноменология, механизмы, экспериментальные модели // Психологические исследования. 2014. Т. 7. № 38. URL: <http://psystudy.ru/index.php/num/2014v7n38/1068-perepelkina38.html> (дата обращения: 24.09.2019).
9. *Смылова О.В., Войскунский А.Е.* Киберзаболевание в системах виртуальной реальности: феноменология и методы измерения // Психологический журнал. 2019. Т. 40. № 4. С. 85–94.
10. *Açikel B., Turhan U., Akbulut Y.* Effect of Multitasking on Simulator Sickness and Performance in 3D Aerodrome Control Training // Simulation & Gaming. 2017. V. 49. № 1. P. 27–49.
11. *Bauer A., Hagenburger J., Plank T., Busch V., Greenlee M.W.* Mechanical pain thresholds and the rubber hand illusion // Frontiers in Psychology. 2018. V. 9. Article 712.
12. *Blanke O.* Multisensory brain mechanisms of bodily self-consciousness // Nature Reviews. Neuroscience. 2012. V. 13. № 8. P. 556–571.
13. *Bockelman P., Lingum D.* Factors of Cybersickness // Communications in Computer and Information Science: 19th International Conference, HCI International 2017 (Vancouver, BC, Canada, July 9–14, 2017) Proceedings, Part II / C. Stephanidis (Ed.). Springer Publ. 2017. V. 714. P. 3–8. DOI: 10.1007/978-3-319-58753-0_1.

14. *Botvinick M., Cohen J.* Rubber hands “feel” touch that eyes see // *Nature*. 1998. V. 391. P. 756.
15. *Brechet L., Grivaz P., Gauthier B., Blanke O.* Common recruitment of angular gyrus in episodic autobiographical memory and bodily self-consciousness // *Frontiers in Behavioral Neuroscience*. 2018. V. 12. P. 270.
16. *Ehrsson H.H.* The experimental induction of out-of-body experiences // *Science*. 2007. V. 317. Issue 5841. P. 1048.
17. *Ehrsson H.H., Spence C., Passingham R.E.* That’s my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb // *Science*. 2004. V. 305. P. 875–877.
18. *Hildebrandt J., Schmitz P., Valdez A.C., Kobbelt L., Ziefle M.* Get Well Soon! Human Factors’ Influence on Cybersickness After Redirected Walking Exposure in Virtual Reality // *Virtual, Augmented and Mixed Reality: Interaction, Navigation, Visualization, Embodiment, and Simulation*. 10th Internat. Conference (July 15–20 2018, Las Vegas, USA) Proceedings, Part 1. Lecture Notes in Computer Science, Iss. 10909 / J.Y.C. Chen and G. Fragomeni (Eds). Springer Publ., 2018. P. 82–101.
19. *Iskenderova A., Weidner F., Broll W.* Drunk Virtual Reality Gaming: Exploring the Influence of Alcohol on Cybersickness // *Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play* (Amsterdam, October 15–18, 2017). ACM. 2017. P. 561–572.
20. *Joseph R.* The neuropsychology of development hemispheric laterality, limbic language, and the origin of thought // *Journal of Clinical Psychology*. 1982. V. 38 (1). P. 4–33.
21. *Keshavarz B., Hecht H., Zschuschke L.* Intra-visual conflict in visually induced motion sickness // *Displays*. 2011. V. 32. № 4. P. 181–188.
22. *Kim H.G., Baddar W.J., Lim H-T., Jeong H., Ro Y.M.* Measurement of exceptional motion in VR video contents for VR sickness assessment using deep convolutional autoencoder // *Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology* (November 8–10, 2017, Gothenburg, Sweden). 2017. DOI: 10.1145/3139131.3139137.
23. *LaViola J.J.* A discussion of cybersickness in virtual environments // *ACM SIGCHI Bulletin archive*. 2000. V. 32. Iss. 1. P. 47–56.
24. *Lenggenhager B., Tadi T., Metzinger T., Blanke O.* Video ergo sum: manipulating bodily selfconsciousness // *Science*. 2007. V. 317. Iss. 5841. P. 1096–1099.
25. *Limanowski J.* What can body ownership illusion tell us about minimal phenomenal selfhood? // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014. V. 8. Article 946.
26. *Liu Ch.-L.* A study of detecting and combating cybersickness with fuzzy control for the elderly within 3D virtual stores // *International Journal of Human-Computer Studies*. 2014. V. 72. Iss. 12. P. 796–804.
27. *Melo M., Vasconcelos-Raposo J., Bessa M.* Presence and cybersickness in immersive content: Effects of content type, exposure time and gender // *Computers & Graphics*. 2018. V. 71. P. 159–165.
28. *Menshikova G.Y., Kovalev A.I., Klimova O.A., Baraban-schikova V.V.* The application of virtual reality technology to testing resistance to motion sickness // *Psychology in Russia: State of the Art*. 2017. V. 10. № 3. P. 151–164.
29. *Mittelstaedt J., Wacker J., Stelling D.* Effects of display type and motion control on cybersickness in a virtual bike simulator // *Displays*. 2018. V. 51. P. 43–50.
30. *Munafò J., Diedrick M., Stoffregen T.A.* The virtual reality head-mounted display oculus rift induces motion sickness and is sexist in its effects // *Experimental Brain Research*. 2016. V. 235. № 3. P. 889–901.
31. *Petkova V.I., Ehrsson H.H.* If I Were You: Perceptual Illusion of Body Swapping // *PLoS ONE*. 2008. V. 3. № 12. P. e3832.
32. *Pot-Kolder R., Veling W., Crounnotte J., van der Gaag M.* Anxiety Partially Mediates Cybersickness Symptoms in Immersive Virtual Reality Environments // *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*. 2018. V. 21. № 3. P. 187–193.
33. *Pouke M., Tiirio A., LaValle S.M., Ojala T.* Effects of Visual Realism and Moving Detail on Cybersickness // *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces* (Tuebingen/Reutlingen, Germany, 18–22 March 2018). IEEE Publ., 2018. P. 665–666.
34. *Rebenitsch L., Owen C.* Individual variation in susceptibility to cybersickness // *27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST 2014 (Honolulu, 5–8 Oct, 2014). ACM. 2014. P. 309–317.
35. *Rebenitsch L., Owen C.* Review on cybersickness in applications and visual displays // *Virtual Reality*. 2016. V. 20. № 2. P. 101–125.
36. *Rohde M., Di Luca M., Ernst M.O.* The Rubber Hand Illusion: Feeling of Ownership and Proprioceptive Drift Do Not Go Hand in Hand // *PLoS ONE*. 2011. V. 6 (6). P. e21659.
37. *Rosa P.J., Morais D., Gamito P., Oliveira J., Saraiva T.* The Immersive Virtual Reality Experience: A Typology of Users Revealed Through Multiple Correspondence Analysis Combined with Cluster Analysis Technique // *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*. 2016. V. 19. № 3. P. 209–216.
38. *Settgast V., Pirker J., Lontschar S., Maggale S., Gütl Ch.* Evaluating Experiences in Different Virtual Reality Setups // *15th International Conference on Entertainment Computing* (Sep. 2016, Wien, Austria). Lecture Notes in Computer Science. 2016. LNCS-9926. P. 115–125.
39. *Shafer D.M., Carbonara C.P., Korpi M.F.* Factors Affecting Enjoyment of Virtual Reality Games: A Comparison Involving Consumer-Grade Virtual Reality Technology // *Games for Health*. 2019. V. 8. № 2. P. 1–9.

40. Slater M., Spanlang B., Sanchez-Vives M.V., Blanke O. First person experience of body transfer in virtual reality // PLoS ONE. 2010. V. 5 (5). P. e10564.
41. Smith A.M., Messier C. Voluntary out-of-body experience: an fMRI study // Frontiers in Human Neuroscience. 2014. V. 8. Article 70.
42. Stanney K., Salvendy G. Aftereffects and Sense of Presence in Virtual Environments: Formulation of a Research and Development Agenda // International Journal of Human-Computer Interaction. 1998. V. 10. Iss. 2. P. 135–187.
43. Vinson N.G., Lapointe J.F., Parush A., Roberts S. Cybersickness induced by desktop virtual reality // Proceedings of the 2012 Conference on Graphics Interface (Toronto, Canada, May 28–30, 2012), Canadian Information Processing Society. 2012. P. 69–75.
44. Visch V., Tan E., Molenaar E. The emotional and cognitive effect of immersion in film viewing // Cognition & Emotion. 2010. V. 24. № 8. P. 1439–1445.

CYBERSICKNESS IN VIRTUAL REALITY: KEY FACTORS AND SENSORY INTEGRATION²

A. E. Voiskounsky^{1,*}, O. V. Smyslova^{2,**}

¹Psychology Department, Lomonosov Moscow State University;
125009, Moscow, Mokhovaya str., 11, Russia.

²UserLytics Corp.; 94404, Foster City, California, USA.

*PhD (Psychology), Leading Researcher. E-mail: vae-msu@mail.ru

**PhD (Psychology), User Researcher. E-mail: olga@smyslova.com

Received 08.10.2018

Abstract. The article provides an overview of cybersickness, also known as a simulator sickness. Phenomenology of cybersickness often accompanies the use of virtual or augmented reality systems. The factors that are supposedly contributing to the emergence of cybersickness, including the technical parameters of virtual reality systems, the individual characteristics of particular users of such systems and the specifics of the tasks they perform, including the phenomena of presence and multitasking, are analyzed. As a promising direction in the search for one of the probable root causes of cybersickness, the issues related to the psychological mechanisms of the integration of multisensor information are discussed in detail. This research area has been actively developing over the past two decades and is associated with the appearance (including through the use of the virtual reality methodology) of sensory illusions (visual, auditory, tactile, kinesthetic) and with the registration of human behavior in situations when the body image seems to be changed. The corresponding phenomena have already received the metaphorical names “out-of-body experience”, or “rubber arm”. Specialists in cognitive sciences, anatomy and neurophysiology of the brain, neuropsychology, philosophy, cyberpsychology, computer science in general and computer graphics in particular, as well as medical prosthetics are interested in solving relevant research problems. Based on available sources in which attempts are made to fix the center of multisensory integration, suggestions are made about its localization in the brain. Promising measures aimed at reducing the likelihood of cybersickness are being considered.

Keywords: virtual reality, immersion, simulator disorder, motion sickness, cybersickness, presence, integration of sensor signals, out-of-body experience.

REFERENCES

1. Averbuh N.V. Psihologicheskie aspekty fenomena prisutstviya v virtual'noj srede. Voprosy psihologii. 2010. № 5. P. 105–113. (In Russian)
2. Averbuh N.V., Shherbinin A.A. Fenomen prisutstviya i ego vliyanie na jeffektivnost' resheniya intellektual'nyh zadach v sredah virtual'noj real'nosti. Psihologija. Zhurnal Vyshej shkoly jekonomiki. 2011. V. 8. № 4. P. 102–119. (In Russian)
3. Arhitektura virtual'nyh mirov. Eds. M.B. Ignat'ev, A.V. Nikitin, A.E. Vojskunskij. St. Petersburg: Izd-vo GUAP, 2009. (In Russian)
4. Velichkovskij B.B. Psihologicheskie faktory vzniknoveniya chuvstva prisutstviya v virtual'nyh sredah. Nacional'nyj

² The study was supported by the Russian Science Foundation, project № 18-18-00365, “Digital socialization in the cultural-historical perspective: intragenerational and intergenerational analysis”, Lomonosov Moscow State University.

- psihologicheskij zhurnal. 2014. № 3 (15). P. 31–38. (In Russian)
5. *Vojskunsij A.E.* Psihologija i Internet. Moscow: Akropol', 2010. (In Russian)
 6. *Kovalev A.I., Klimova O.A.* Diagnostika ustojchivosti vestibul'noj funkcii sportsmenov s primeneniem tehnologii virtual'noj real'nosti. Sportivnyj psiholog. 2017. V. 46. № 3. P. 4–9. (In Russian)
 7. *Kovalev A.I., Men'shikova G.Ja., Klimova O.A., Baraban-shhikova V.V.* Soderzhanie professional'noj dejatel'nosti kak faktor uspešnosti primeneniya tehnologij virtual'noj real'nosti. Jeksperimental'naja psihologija. 2015. V. 8. № 2. P. 45–59. (In Russian)
 8. *Perepelkina O.S., Arina G.A., Nikolaeva V.V.* Telesnye il-ljuzii: fenomenologija, mehanizmy, jeksperimental'nye modeli. Psihologicheskie issledovanija. 2014. V. 7. № 38. URL: <http://psystudy.ru/index.php/num/2014v7n38/1068-perepelkina38.html> (accessed: 24.09.2019). (In Russian)
 9. *Smyslova O.V., Vojskunsij A.E.* Kiberzabolevanie v sistemah virtual'noj real'nosti: fenomenologija i metody izmenenija. Psikhologicheskij zhurnal. 2019. V. 40. № 4. P. 85–94. (In Russian)
 10. *Açikel B., Turhan U., Akbulut Y.* Effect of Multitasking on Simulator Sickness and Performance in 3D Aerodrome Control Training. Simulation & Gaming. 2017. V. 49. № 1. P. 27–49.
 11. *Bauer A., Hagenburger J., Plank T., Busch V., Greenlee M.W.* Mechanical pain thresholds and the rubber hand illusion. Frontiers in Psychology. 2018. V. 9. Article 712.
 12. *Blanke O.* Multisensory brain mechanisms of bodily self-consciousness. Nature Reviews. Neuroscience. 2012. V. 13. № 8. P. 556–571.
 13. *Bockelman P., Lingum D.* Factors of Cybersickness. Communications in Computer and Information Science: 19th International Conference, HCI International 2017 (Vancouver, BC, Canada, July 9–14, 2017) Proceedings, Part II. C. Stephanidis (Ed.). Springer Publ. 2017. V. 714. P. 3–8. DOI: 10.1007/978-3-319-58753-0_1.
 14. *Botvinick M., Cohen J.* Rubber hands “feel” touch that eyes see. Nature. 1998. V. 391. P. 756.
 15. *Brechet L., Grivaz P., Gauthier B., Blanke O.* Common recruitment of angular gyrus in episodic autobiographical memory and bodily self-consciousness. Frontiers in Behavioral Neuroscience. 2018. V. 12. P. 270.
 16. *Ehrsson H.H.* The experimental induction of out-of-body experiences. Science. 2007. V. 317. Issue 5841. P. 1048.
 17. *Ehrsson H.H., Spence C., Passingham R.E.* That's my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb. Science. 2004. V. 305. P. 875–877.
 18. *Hildebrandt J., Schmitz P., Valdez A.C., Kobbelt L., Ziefle M.* Get Well Soon! Human Factors' Influence on Cybersickness After Redirected Walking Exposure in Virtual Reality. Virtual, Augmented and Mixed Reality: Interaction, Navigation, Visualization, Embodiment, and Simulation. 10th Internat. Conference (July 15–20 2018, Las Vegas, USA) Proceedings, Part 1. Lecture Notes in Computer Science, Issue 10909. J.Y.C. Chen and G. Fragomeni (Eds). Springer Publ., 2018. P. 82–101.
 19. *Iskenderova A., Weidner F., Broll W.* Drunk Virtual Reality Gaming: Exploring the Influence of Alcohol on Cybersickness. Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play (Amsterdam, October 15–18, 2017). ACM. 2017. P. 561–572.
 20. *Joseph R.* The neuropsychology of development hemispheric laterality, limbic language, and the origin of thought. Journal of Clinical Psychology. 1982. V. 38 (1). P. 4–33.
 21. *Keshavarz B., Hecht H., Zschuschke L.* Intra-visual conflict in visually induced motion sickness. Displays. 2011. V. 32. № 4. P. 181–188.
 22. *Kim H.G., Baddar W.J., Lim H.-T., Jeong H., Ro Y.M.* Measurement of exceptional motion in VR video contents for VR sickness assessment using deep convolutional autoencoder. Proceedings of the 23rd ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (November 8–10, 2017, Gothenburg, Sweden). 2017. DOI: 10.1145/3139131.3139137.
 23. *LaViola J.J.* A discussion of cybersickness in virtual environments. ACM SIGCHI Bulletin archive. 2000. V. 32. Iss. 1. P. 47–56.
 24. *Lenggenhager B., Tadi T., Metzinger T., Blanke O.* Video ergo sum: manipulating bodily selfconsciousness. Science. 2007. V. 317. Is. 5841. P. 1096–1099.
 25. *Limanowski J.* What can body ownership illusion tell us about minimal phenomenal selfhood? Frontiers in Human Neuroscience. 2014. V. 8. Article 946.
 26. *Liu Ch.-L.* A study of detecting and combating cybersickness with fuzzy control for the elderly within 3D virtual stores. International Journal of Human-Computer Studies. 2014. V. 72. Is. 12. P. 796–804.
 27. *Melo M., Vasconcelos-Raposo J., Bessa M.* Presence and cybersickness in immersive content: Effects of content type, exposure time and gender. Computers & Graphics. 2018. V. 71. P. 159–165.
 28. *Menshikova G.Y., Kovalev A.I., Klimova O.A., Baraban-shikova V.V.* The application of virtual reality technology to testing resistance to motion sickness. Psychology in Russia: State of the Art. 2017. V. 10. № 3. P. 151–164.
 29. *Mittelstaedt J., Wacker J., Stelling D.* Effects of display type and motion control on cybersickness in a virtual bike simulator. Displays. 2018. V. 51. P. 43–50.
 30. *Munafò J., Diedrick M., Stoffregen T.A.* The virtual reality head-mounted display oculus rift induces motion sickness and is sexist in its effects. Experimental Brain Research. 2016. V. 235. № 3. P. 889–901.
 31. *Petkova V.I., Ehrsson H.H.* If I Were You: Perceptual Illusion of Body Swapping. PLoS ONE. 2008. V. 3. № 12. P. e3832.

32. *Pot-Kolder R., Veling W., Counotte J., van der Gaag M.* Anxiety Partially Mediates Cybersickness Symptoms in Immersive Virtual Reality Environments. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*. 2018. V. 21. № 3. P. 187–193.
33. *Pouke M., Tiiro A., LaValle S.M., Ojala T.* Effects of Visual Realism and Moving Detail on Cybersickness. 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (Tuebingen/Reutlingen, Germany, 18–22 March 2018). IEEE Publ., 2018. P. 665–666.
34. *Rebenitsch L., Owen C.* Individual variation in susceptibility to cybersickness. 27th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST 2014 (Honolulu, 5–8 Oct, 2014). ACM. 2014. P. 309–317.
35. *Rebenitsch L., Owen C.* Review on cybersickness in applications and visual displays. *Virtual Reality*. 2016. V. 20. № 2. P. 101–125.
36. *Rohde M., Di Luca M., Ernst M.O.* The Rubber Hand Illusion: Feeling of Ownership and Proprioceptive Drift Do Not Go Hand in Hand. *PLoS ONE*. 2011. V. 6 (6). P. e21659.
37. *Rosa P.J., Morais D., Gamito P., Oliveira J., Saraiva T.* The Immersive Virtual Reality Experience: A Typology of Users Revealed Through Multiple Correspondence Analysis Combined with Cluster Analysis Technique. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*. 2016. V. 19. № 3. P. 209–216.
38. *Settgast V., Pirker J., Lontschar S., Maggale S., Gütl Ch.* Evaluating Experiences in Different Virtual Reality Setups. 15th International Conference on Entertainment Computing (Sep. 2016, Wien, Austria). *Lecture Notes in Computer Science*. 2016. LNCS-9926. P. 115–125.
39. *Shafer D.M., Carbonara C.P., Korpi M.F.* Factors Affecting Enjoyment of Virtual Reality Games: A Comparison Involving Consumer-Grade Virtual Reality Technology. *Games for Health*. 2019. V. 8. № 2. P. 1–9.
40. *Slater M., Spanlang B., Sanchez-Vives M.V., Blanke O.* First person experience of body transfer in virtual reality. *PLoS ONE*. 2010. V. 5 (5). P. e10564.
41. *Smith A.M., Messier C.* Voluntary out-of-body experience: an fMRI study. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2014. V. 8. Article 70.
42. *Stanney K., Salvendy G.* Aftereffects and Sense of Presence in Virtual Environments: Formulation of a Research and Development Agenda. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 1998. V. 10. Iss. 2. P. 135–187.
43. *Vinson N.G., Lapointe J.F., Parush A., Roberts S.* Cybersickness induced by desktop virtual reality. *Proceedings of the 2012 Conference on Graphics Interface (Toronto, Canada, May 28–30, 2012)*, Canadian Information Processing Society. 2012. P. 69–75.
44. *Visch V., Tan E., Molenaar E.* The emotional and cognitive effect of immersion in film viewing. *Cognition & Emotion*. 2010. V. 24. № 8. P. 1439–1445.