

УДК 004.5, 159.95

## **ВЛИЯНИЕ ОБНАРУЖЕНИЯ И КОРРЕКЦИИ ОШИБОК НА ФЕНОМЕН ПРИСУТСТВИЯ В ВИРТУАЛЬНЫХ СРЕДАХ**

**Б. Б. Величковский**

Феномен присутствия заключается в субъективном чувстве реалистичности взаимодействия с виртуальной средой. Присутствие является важным фактором эффективности использования систем виртуальной реальности. На возникновение и выраженность феномена присутствия оказывают влияние как технологические, так и психологические факторы, в том числе когнитивный контроль. Особое влияние на возникновение феномена присутствия может оказывать система мониторинга и коррекции ошибок, связанная с обнаружением и нейтрализацией расхождения между ожидаемыми и реальными результатами когнитивной деятельности. Было изучено, в какой степени эффективность мониторинга и коррекции ошибок (оцененная через эффекты замедления после ошибки и адаптации к конфликту) связаны с аспектами феномена присутствия. Для высокоиммерсивной (CAVE) и низкоиммерсивной (стандартный дисплей) сред было показано, что (1) эффективная коррекция ошибок предупреждает развитие негативных соматических эффектов, связанных с работой в виртуальной среде, и (2) эффективное обнаружение когнитивных конфликтов препятствует возникновению феномена присутствия через обнаружение неестественности виртуального сценария. В низкоиммерсивной среде обнаружение конфликтов также препятствовало формированию эмоциональной вовлеченности в виртуальный сценарий.

*Ключевые слова:* виртуальная реальность, присутствие, когнитивный контроль, мониторинг ошибок, замедление после ошибки, адаптация к конфликту.

---

**Величковский Борис Борисович** — кандидат психологических наук, доцент кафедры методологии психологии ф-та психологии МГУ имени М.В. Ломоносова.  
*E-mail:* velitchk@mail.ru

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-06-08998).

В условиях развития информационных технологий в постиндустриальном обществе взаимодействие с разнообразными *виртуальными средами* (ВС) становится неотъемлемой частью труда и отдыха. Это касается, например, взаимодействия с многомерными информационными пространствами, с ВС в системах виртуальной реальности, а также с виртуальными пространствами видеоигр (Богачева, Войскунский, 2014; Файола и др., 2016). Важным фактором эффективности взаимодействия с ВС является феномен присутствия (*presence*) (Авербух, 2010; Lessiter et al., 2001; Slater, 2009). Под присутствием понимается чувство реальности взаимодействия с ВС, часто выражающееся в иллюзии физического переноса в ее пространство (*the sense of being there*) (Witmer, Singer, 1998). Ощущение реальности происходящего может проявляться в естественных реакциях человека на события ВС (уклонение от движущихся объектов, замирание перед «обрывами», естественные психофизиологические реакции на «опасные» виртуальные события). Возникновение феномена присутствия также проявляется в возникновении чувства эмоциональной вовлеченности, интереса к виртуальному сценарию (Lessiter et al., 2001). И наоборот, чувство присутствия может не возникать, что приводит к восприятию ВС как искусственной и вызывает чувство дискомфорта при взаимодействии с ней. В целом феномен присутствия можно кратко охарактеризовать как «перцептивную иллюзию непосредственности» (Lombard, Ditton, 1997): человек взаимодействует с ВС, не осознавая, что она опосредована той или иной технологией.

На возникновение феномена присутствия влияет множество факторов, как технологических, так и психологических (Величковский, 2014; Lessiter et al., 2001). Технологические факторы присутствия связаны с технологическим совершенством методики создания ВС, возможностью достижения максимальной реалистичности изображения и детального соответствия формы и функции виртуальных объектов их реальным прототипам. Однако технологическое совершенство методики предъявления далеко не всегда обеспечивает возникновение феномена присутствия (Авербух, 2010; Величковский, 2014; Witmer, Singer, 1998). Присутствие — это субъективный феномен и его возникновение во многом определяется действием психологических факторов (которые, безусловно, могут взаимодействовать с технологическими факторами). В частности, феномен присутствия может зависеть от способности концентрировать внимание на виртуальных объектах, от пространственных способностей (связанных с возможностью незатрудненной ориентации и навигации в виртуальной среде), от

опыта взаимодействия с компьютерными технологиями (что связано с легкостью «принятия» технологически обусловленных методов взаимодействия с ВС). Большую роль в возникновении феномена присутствия играют личностные факторы, такие, как экстраверсия, импульсивность, открытость опыту и склонность к психологической абсорбции (Sacaу et al., 2008). Также можно предположить, что одним из ведущих когнитивных факторов возникновения чувства присутствия являются индивидуальные особенности когнитивного контроля — системы метакогнитивных процессов, настраивающих познавательную сферу человека на работу в заданных условиях (Величковский, 2009; Сергиенко, 2009).

К функциям когнитивного контроля относятся инициация и прекращение когнитивных процессов, настройка параметров процессов внимания и восприятия на отбор задачеспецифичной информации, подавление переработки irrelevantных репрезентаций, координация деятельности в условиях многозадачности и т.д. Как система, обеспечивающая настройку когнитивной сферы на гибкое достижение текущих целей в определенных условиях, когнитивный контроль может играть важную роль в обеспечении настройки когнитивной сферы человека-пользователя ВС на особенности взаимодействия с конкретной ВС. В частности, одной из важных функций когнитивного контроля является мониторинг и исправление ошибок. Эта подсистема когнитивного контроля, работа которой связывается с активностью передней поясной коры, сравнивает ожидаемый результат когнитивной деятельности с реальным результатом и в случае их расхождения активирует коррекцию работы релевантных задач когнитивных процессов так, чтобы минимизировать обнаруженное расхождение, т.е. устранить ошибку (Botvinnik et al., 2001). Эмпирически действие системы мониторинга ошибок проявляется в феномене замедления после ошибки (*post-error slowing*), т.е. снижении скорости реакции в пробах после пробы с ошибкой (Dutilh et al., 2012), а также в феномене адаптации к конфликту (*conflict adaptation*), т.е. уменьшении эффекта вызванной когнитивным конфликтом интерференции в пробе после пробы с аналогичным конфликтом (Botvinnik et al., 2001). Предполагается, что указанные феномены возникают при функциональной активации системы мониторинга и коррекции ошибок в ответ на возникновение ошибки/конфликта, т.е. расхождения между ожидаемым и получаемым в ходе когнитивной деятельности.

Мониторинг и коррекция ошибок могут влиять на феномен присутствия, так как взаимодействие с ВС всегда порождает конфликт между ожидаемым и воспринимаемым в ходе взаимодействия

с ВС. Это связано, конечно, с тем, что никакая ВС не может полностью соответствовать реальной среде, на взаимодействие с которой по умолчанию настроена когнитивная сфера человека. В результате возникает перцептивный и/или когнитивный конфликт, ярким проявлением которого могут становиться эффекты «симуляторной болезни», столь характерные для пользователей систем виртуальной реальности. От того, насколько эффективно человек-пользователь ВС преодолет этот конфликт, будет зависеть степень воспринимаемой реалистичности взаимодействия с ВС, т.е. возникновение и выраженность феномена присутствия.

В рамках данного исследования эмпирически проверено, в какой степени аспекты феномена присутствия связаны с эффективностью работы подсистемы мониторинга и исправления ошибок в ВС с разным уровнем иммерсивности.

В ходе исследования 39 испытуемым (32 женщины, 7 мужчин, возраст 18—27 лет, студенты факультета психологии МГУ имени М.В. Ломоносова) предъявлялся виртуальный сценарий, в котором было необходимо «обойти» в правильном числовом порядке 9 цифр (1—9), случайно расположенных в виртуальном пространстве размером 20×20 м. Предъявление виртуального сценария осуществлялось либо в высокоиммерсивной (ВИ), либо в низкоиммерсивной (НИ) среде. ВИ-среда была реализована посредством системы виртуальной реальности класса *CAVE*, установленной в Центре виртуальной реальности факультета психологии МГУ. НИ-среда была реализована посредством предъявления виртуального сценария на стандартном компьютерном мониторе. В ходе выполнения виртуального сценария перемещение испытуемых в виртуальном пространстве и взаимодействие с объектами осуществлялось с помощью специального джойстика или компьютерной «мыши».

Испытуемые также заполняли переведенный на русский язык опросник выраженности феномена присутствия *ITC-SOPI* (Lessiter et al., 2001). Опросник состоит из 44 утверждений, затрагивающих различные аспекты чувства присутствия, оцениваемые по пятибалльной шкале. Опросник содержит шкалы *Пространственное присутствие*, *Эмоциональная вовлеченность*, *Естественность сценария* и *Негативные эффекты* (головокружение, тошнота, дискомфорт). Общий показатель выраженности присутствия рассчитывался как сумма баллов по всем шкалам. Испытуемые также выполнили серию тестов на когнитивный контроль. В состав серии входили тесты на эффективность переключения между задачами (предсказуемые и случайные переключения), тесты на подавление иррелевантных

репрезентаций (задача на антисаккаду, фланговая задача Эриксонов, задача *Go-No Go*), а также задач на обновление рабочей памяти (задача *n-back*). Для задачи на случайные переключения был рассчитан показатель величины замедления после ошибки. Он рассчитывался как отношение среднего времени реакции в корректных пробах, следующих за некорректной пробой, к среднему времени реакции в корректных пробах, следующих за корректной пробой. Для фланговой задачи Эриксонов (суть выполнения которой заключается в подавлении связанной с когнитивным конфликтом сенсорной интерференции) был рассчитан показатель адаптации к конфликту. Он рассчитывался как отношение среднего времени реакции в неконгруэнтных пробах после конгруэнтной пробы к среднему времени реакции в неконгруэнтных пробах после конгруэнтной пробы. Высокие значения этого показателя свидетельствуют о высокой эффективности работы системы мониторинга и исправления ошибок. Интерпретация показателя замедления после ошибки менее однозначна и должна обосновываться эмпирически.

Результаты анализа зависимости эффективности мониторинга и исправления ошибок и выраженности аспектов феномена присутствия приведены в таблице. Учитывая поисковый характер исследования, как значимые рассматривались корреляции, значимые на уровне  $p < 0.1$  (выделены жирным в таблице).

**Зависимость (коэффициент корреляции Пирсона) феномена присутствия от величины замедления после ошибки и величины адаптации к конфликту. Условные обозначения: ПП — пространственное присутствие, ЭВ — эмоциональная вовлеченность, ЕС — естественность сценария, НЭ — негативные эффекты, ОПП — общий показатель присутствия, ЗПО — замедление после ошибки, АКК — адаптация к конфликту**

Показатель мониторинга и коррекции	Аспект присутствия				
	ПП	ЭВ	ЕС	НЭ	ОПП
<i>CAVE</i>					
ЗПО	.055	.094	.176	<b>-.295</b>	.056
АКК	.038	-.145	<b>-.278</b>	.126	-.105
<i>Дисплей</i>					
ЗПО	-.163	<b>-.374</b>	-.047	<b>-.381</b>	-.259
АКК	.036	.095	<b>-.285</b>	.078	-.095

Для ВИ-среды *CAVE* были обнаружены две значимые связи показателей эффективности мониторинга и коррекции ошибок и аспектов присутствия. Активность подсистемы мониторинга обратно коррелировала с выраженностью негативных эффектов (неприятные ощущения в ходе взаимодействия с ВС), т.е. высокая активность подсистемы мониторинга способствует лучшему контролю сенсорных и вестибулярных нарушений, которые возникают при нарушении ВС сенсомоторных установок, характерных для взаимодействия с реальным окружением. Также было обнаружено, что эффективность адаптации к конфликту обратно связана с воспринимаемой естественностью виртуального сценария. Это означает, что развитая подсистема мониторинга ошибок ведет к лучшему обнаружению ответственности виртуальных сценариев, препятствуя, таким образом, возникновению чувства присутствия в недостаточно реалистичных ВС даже при высоком уровне иммерсивности. Аналогичные результаты были получены и для НИ-среды: эффективность коррекции ошибок была связана с эффективностью предупреждения негативных эффектов при работе с ВС, а эффективная адаптация к конфликту приводила к восприятию неестественности виртуальных сценариев. При этом для НИ-среды возникала дополнительная обратная зависимость уровня эмоциональной вовлеченности от активности подсистемы мониторинга и коррекции ошибок, что связано с общим снижением реалистичности ВС, реализуемых с помощью низкоиммерсивных технологий. Полученные результаты подтверждают, что в НИ-средах роль когнитивного контроля для возникновения чувства присутствия особенно важна (Величковский и др., 2016).

\* \* \*

В данной работе была изучена связь эффективности мониторинга и коррекции ошибок в когнитивной деятельности и различными аспектами феномена присутствия при работе в ВС. Было показано, что эффективная коррекция когнитивных ошибок способствует предупреждению негативных соматических эффектов, которые могут возникнуть при работе с ВС. Это свидетельствует о положительной роли эффективного мониторинга и коррекции ошибок в возникновении феномена присутствия. Однако подсистема мониторинга и коррекции ошибок может играть и негативную роль в возникновении чувства присутствия, сигнализируя о низкой естественности виртуальных сценариев. Эта негативная роль подсистемы мониторинга и коррекции ошибок становится особенно важной при работе в низкоиммерсивных ВС. В таких средах важным

практическим следствием становится проектирование реалистичных, эмоционально привлекательных виртуальных сценариев.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Авербух Н.В.* Психологические аспекты феномена присутствия в виртуальной среде // Вопросы психологии. 2010. № 5. С. 105—113.

*Богачева Н.В., Войскунский А.Е.* Специфика когнитивных стилей и функции контроля у геймеров // Психологические исследования: электрон. науч. журнал. 2014. Т. 7. № 38.

*Величковский Б.Б.* Возможности когнитивной тренировки как средства коррекции возрастных изменений когнитивного контроля // Экспериментальная психология. 2009. Т. 2. № 4. С. 67—91.

*Величковский Б.Б.* Психологические факторы возникновения чувства присутствия в виртуальных средах // Национальный психологический журнал. 2014. Т. 15. № 3. С. 31—38.

*Величковский Б.Б., Гусев А.Н., Виноградова В.Ф., Арбекова О.А.* Когнитивный контроль и чувство присутствия в виртуальных средах // Экспериментальная психология. 2016. Т. 9. № 1. С. 5—20.

*Сергиенко Е.А.* Контроль поведения: индивидуальные ресурсы субъектной регуляции // Психологические исследования: электрон. науч. журнал. 2009. Т. 5. № 7.

*Файола Э., Войскунский А.Е., Богачева Н.В.* Человек дополненный: становление киберсознания // Вопросы философии. 2016. № 3. С. 147—162.

*Botvinnik M., Braver T., Barch D., Carter C., Cohen J.* Conflict monitoring and cognitive control // Psychological Review. 2001. Vol. 108. P. 624—652.

*Dutilh G. et al.* Testing theories of post-error slowing // Attention, Perception, and Psychophysics. 2012. Vol. 74. P. 454—465.

*Lessiter J., Freeman J., Keogh E., Davidoff J.* A cross-media presence questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. 2001. Vol. 10. P. 282—297.

*Lombard M., Ditton T.* At the heart of it all: The concept of presence // Journal of Computer-Mediated Communication. 1997. Vol. 3. DOI: 10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x

*Sacau A., Laarni J., Hartmann T.* Influence of individual factors on presence // Computers in Human Behavior. 2008. Vol. 24. P. 2255—2273.

*Slater M.* Place illusion and plausibility can lead to realistic behavior in immersive virtual environments // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 2009. Vol. 364. P. 3549—3557.

*Witmer B., Singer M.* Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire // Presence. 1998. Vol. 7. P. 225—240.

## IMPACT DETECTION AND ERROR CORRECTION ON THE PHENOMENON OF PRESENCE IN VIRTUAL ENVIRONMENTS

**Boris B. Velichkovskiy**

*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Psychology, Moscow, Russia*

**Abstract:** The phenomenon of presence is the subjective sense of realistic interaction with the virtual environment. Presence is an important factor in the effectiveness of the use of virtual reality systems. On the occurrence and severity of presence phenomenon influenced by both technological and psychological factors, including cognitive control. Special influence on the emergence of the phenomenon of presence can have a system of monitoring and correction of errors associated with detection and neutralization of differences between expected and actual results of the cognitive activities. It examined the extent to which the effectiveness of monitoring and error correction (estimated through the effects of slowing down after an error and adapt to the conflict) is related to the aspects of the presence phenomenon. For high-immersive (CAVE) and low-immersive (standard display) environments, it was shown that (1) efficient error correction prevents the negative physical effects associated with the working in a virtual environment, and (2) effective detection of cognitive conflicts prevent the emergence of the phenomenon of presence through detecting unnatural virtual scenario. In low-immersive environment conflict detection also prevented the formation of emotional involvement in a virtual scenario.

**Key words:** virtual reality, presence, cognitive control, error monitoring, post-error slowing, conflict adaptation.

### References:

Averbukh, N.V. (2010) Psikhologicheskie aspekty fenomena prisutstviya v virtual'noy srede. *Voprosy psikhologii* [Questions of Psychology], 5, 105—113.

Bogacheva, N.V., Voyskunskiy, A.E. (2014) Spetsifika kognitivnykh stiley i funktsii kontrolya u geymerov. *Psikhologicheskie issledovaniya* [Psychological Research]: elektron. nauch. Zhurnal, 7, 38.

Botvinnik, M., Braver, T., Barch, D. et al. (2001) Conflict monitoring and cognitive control. *Psychological Review*, 108, 624—652.

Dutilh, G. et al. (2012) Testing theories of post-error slowing. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 74, 454—465.

Fayola, E., Voyskunskiy, A.E., Bogacheva, N.V. (2016) Chelovek dopolnenny: stanovlenie kibersoznaniya. *Voprosy filosofii* [Questions of Philosophy], 3, 147—162.



Lessiter, J., Freeman, J., Keogh, E., Davidoff, J. (2001) A cross-media presence questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 10, 282—297.

Lombard, M., Ditton, T. (1997) At the heart of it all: The concept of presence. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 3. DOI: 10.1111/j.1083-6101.1997.tb00072.x

Sacau, A., Laarni, J., Hartmann, T. (2008) Influence of individual factors on presence. *Computers in Human Behavior*, 24, 2255—2273.

Sergienko, E.A. (2009) Kontrol' povedeniya: individual'nye resursy sub'ektnoy regulyatsii. *Psikhologicheskie issledovaniya* [Psychological Research]: elektron. nauch. zhurnal, 5, 7.

Slater, M. (2009) Place illusion and plausibility can lead to realistic behavior in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 364, 3549—3557.

Velichkovskiy, B.B. (2009) Vozmozhnosti kognitivnoy trenirovki kak sredstva korrektsii vozrastnykh izmeneniy kognitivnogo kontrolya. *Ekspierimental'naya psikhologiya* [Experimental Psychology], 2, 4, 67—91.

Velichkovskiy, B.B. (2014) Psikhologicheskie faktory voznikoveniya chuvstva prisutstviya v virtual'nykh sredakh. *Natsional'nyy psikhologicheskiy zhurnal* [National Psychological Journal], 15, 3, 31—38.

Velichkovskiy, B.B., Gusev, A.N., Vinogradova, V.F., Arbekova, O.A. (2016) Kognitivnyy kontrol' i chuvstvo prisutstviya v virtual'nykh sredakh. *Ekspierimental'naya psikhologiya* [Experimental Psychology], 9, 1, 5—20.

Witmer, B., Singer, M. (1998) Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence*, 7, 225—240.

Original manuscript received October, 10, 2016

Revised manuscript accepted November, 01, 2016