



# ВОСПРИЯТИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ СТЕРЕООБЪЕКТОВ: ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗРИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПЕРЦЕПТИВНЫЕ ЭФФЕКТЫ

**ВАСИЛЬЕВА Н.Н.**

*Институт проблем передачи информации имени А.А. Харкевича РАН (ИППИ РАН),  
г. Москва, Российская Федерация  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8919-3069>, e-mail: [nn\\_vasilyeva@mail.ru](mailto:nn_vasilyeva@mail.ru)*

**РОЖКОВА Г.И.**

*Институт проблем передачи информации имени А.А. Харкевича РАН (ИППИ РАН),  
г. Москва, Российская Федерация  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3233-7965>, e-mail: [gir@iitp.ru](mailto:gir@iitp.ru)*

В исследовании изучались особенности зрительного восприятия человека в виртуальных средах, создаваемых на основе стереотехнологий. В нем участвовали 100 человек в возрасте от 17 до 79 лет. Для наблюдения виртуальных стереообъектов применяли компьютерную программу «Фузия», созданную для измерения фузионных резервов, характеризующих качество механизмов стереовосприятия. Тестовыми стимулами служили случайно-точечные стереограммы. Раздельное предъявление стимулов левому и правому глазу осуществляли на основе поляризационного способа сепарации. Задача испытуемого состояла в описании возникающих у него зрительных стереообразов: величины виртуальных объектов, их позиции по глубине, особенностей движения. Обнаружены существенные межиндивидуальные различия в характере восприятия виртуальных стереообъектов даже в случае нормально функционирующих механизмов бинокулярного стереопсиса. Выделено 4 типа стереовосприятия. Предполагается, что описанные феномены и выявленная типология пространственных перцептивных эффектов являются следствием перестройки взаимодействия зрительных сенсорных, аккомодационных и глазодвигательных механизмов формирования видимых образов при адаптации к виртуальной среде.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, стереотехнологии, зрительное восприятие, стереобраз, зрительные механизмы, перцептивные эффекты.

---

**Благодарности.** Авторы благодарят за обсуждение работы и техническую помощь старшего научного сотрудника ИППИ РАН М.А. Грачеву.

**Для цитаты:** Васильева Н.Н. Рожкова Г.И. Восприятие виртуальных стереообъектов: особенности взаимодействия зрительных механизмов и пространственные перцептивные эффекты // Экспериментальная психология. 2021. Том 14. № 3. С. 79—90. DOI: <https://doi.org/10.17759/exppsy.2021140306>



# PERCEPTION OF VIRTUAL STEREO OBJECTS: SPATIAL PERCEPTUAL EFFECTS CAUSED BY THE PECULIARITIES IN INTERACTION OF VISUAL MECHANISMS

**NADEZHDA N. VASILYEVA**

*Institute for Information Transmission Problems, Russian Academy of Sciences (Kharkevich Institute),  
Moscow, Russia*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8919-3069>, e-mail: [nn\\_vasilyeva@mail.ru](mailto:nn_vasilyeva@mail.ru)

**GALINA I. ROZHKOVA**

*Institute for Information Transmission Problems, Russian Academy of Sciences (Kharkevich Institute),  
Moscow, Russia*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3233-7965>, e-mail: [gir@iitp.ru](mailto:gir@iitp.ru)

The purpose of our study was investigation of the peculiarities of human visual perception in virtual environment created on the basis of stereo technologies. The participants were 100 adults aged from 17 to 79 years (40 males and 60 females, average age 32,9 years). Observation of virtual stereo objects was provided by computer software “Fusion” created for measuring visual fusion reserves which characterize the quality of binocular mechanisms of stereo perception. Test stimuli were random dot stereograms (RDSs) encoding a square test object moving from the screen to the observer. Separate presentation of the stimuli to the left and right eyes was based on the opposite circular polarization method. The participant’s task was to observe virtual stereo objects and describe perceived visual images: their sizes, positions in depth and directions of movement. It has been found that, in conditions of viewing the same virtual stereo objects, the participants with normally functioning mechanisms of binocular stereopsis could perceive quite different stereo images. On the basis of the perceived stereo image parameters, all participants were divided into four types. The described phenomena and the identified typology of spatial perceptual stereo effects could be considered as the consequences of restructuring interaction of visual sensory, accommodative and oculo-motor mechanisms involved in visible image formation when adapting to a virtual environment.

**Keywords:** virtual reality, stereo technologies, visual perception, stereo image, visual mechanisms, spatial perceptual effects.

---

**Acknowledgements.** The authors are grateful for the technical assistance and useful comments on the manuscript to M.A. Gracheva, a senior researcher at Kharkevich Institute.

**For citation:** Vasilyeva N.N., Rozhkova G.I. Perception of Virtual Stereo Objects: Spatial Perceptual Effects Caused by the Peculiarities in Interaction of Visual Mechanisms. *Экспериментальная психология = Experimental Psychology (Russia)*, 2021. Vol. 14, no. 3, pp. 79–90. DOI: <https://doi.org/10.17759/expsy.2021140306> (In Russ.).

## Введение

Развитие стереокинематографа и технологий виртуальной реальности (VR) инициировало проведение теоретических и экспериментальных исследований, направленных на изучение взаимодействия человека с современными устройствами 3D-визуализации, выявление особенностей зрительного восприятия пространства при использовании VR-шлемов, 3D-телевизоров, мониторов, тренажеров. Данные технологии получили широкое применение не только в области иммерсивного киноискусства, спорта, досуга, но и в образовательном процессе при формировании у обучающихся профессиональных навыков, в психологической и медицинской практике для коррекции психических процессов и состояний, оп-



тимизации функционирования зрительной системы и лечения расстройств бинокулярного зрения, а также при разработке различных тренировочных и коррекционно-развивающих программ. В связи с этим у пользователей естественно возникают вопросы, касающиеся обеспечения безопасного и эффективного обращения с разнообразными информационными средствами создания виртуального окружения.

Применение технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе и коррекционно-развивающей работе способствует значительному улучшению когнитивного функционирования: образной кратковременной памяти, наблюдательности, устойчивости и концентрации внимания, успешности и скорости решения задач, требующих сложного пространственного анализа при поиске, идентификации и классификации объектов. Положительное влияние данных технологий на различные психические и психофизиологические функции авторы объясняют преимуществами трехмерного изображения объектов по сравнению с плоскостным, возможностью визуализации абстрактных моделей, эффектом присутствия, созданием трехмерного впечатления, максимально приближенного к реальному восприятию, возможностью быстрой содержательной модификации этих сред и др. [4; 6; 9; 13; 14; 15; 23].

На фоне возрастающего интереса к инновационным технологиям, решения общих задач научно обоснованной адаптации соответствующих устройств к нуждам образовательной, психологической и клинической практики, изучения психологических аспектов восприятия в условиях виртуальной и дополненной реальности актуальными становятся вопросы исследования принципов работы различных механизмов восприятия зрительной информации в искусственно создаваемых средах.

В естественной среде формирование пространственных зрительных образов происходит в процессе активного взаимодействия различных механизмов зрительной сенсорной, аккомодационной и глазодвигательной систем. Эти механизмы вносят разный вклад в формирование видимых образов и располагаются на разных уровнях — от сенсорного до когнитивного. В различных режимах наблюдения (естественные сцены, плоский экран, стереоскопическое изображение) зрительная система, проводя обработку входящих сигналов, должна выбирать наиболее адекватный вариант образа, используя динамическую перестройку функциональных систем, реализующих процесс зрительного восприятия в конкретных условиях.

Стереокинематограф и ряд современных устройств виртуальной реальности используют бинокулярные стереотехнологии, основанные на способности человека более точно оценивать рельефность, объемную форму, свойства поверхностей и пространственное расположение объектов, сопоставляя сигналы, поступающие в мозг от одной и той же сцены через оба глаза. В этих случаях наблюдателю предъявляются совмещенные на экране изображения стереопары. Их сепарированное рассматривание при помощи разделительных очков, стереоскопа или шлема позволяет воспринимать стереоизображение — виртуальную объемно-пространственную картину. Базовым механизмом, определяющим преимущества бинокулярного пространственного восприятия по сравнению с монокулярным зрением, является фузия — способность зрительной системы объединять информацию, поступающую в мозг из обоих глаз, в единый видимый образ, повышая при этом качество анализа оптического потока за счет учета небольших различий двух сетчаточных изображений [3; 7; 12; 16; 20; 22]. Благодаря созданию и использованию в фундаментальных исследованиях случайно-точечных стереограмм (СТС) было доказано, что монокулярное узнавание объектов не является обязательным начальным этапом стереосинтеза и формирование объемных образов может осуществляться чисто бинокулярными подсистемами обработки информации. Объекты, закодированные в СТС, можно



увидеть только в условиях бинокулярного восприятия, поэтому такие объекты получили название чисто бинокулярных, или циклопических, объектов [8; 16; 17].

В свете современных данных об участии разных модулей зрительной сенсорной, аккомодационной и глазодвигательной систем в зрительном процессе научный и практический интерес приобретают исследования особенностей восприятия виртуальных стереообъектов в зависимости от функциональной зрелости соответствующих механизмов у человека, режимов наблюдения, условий жизнедеятельности и опыта восприятия стереопроодукции.

Цель настоящего исследования состояла в выявлении индивидуальных особенностей взаимодействия зрительных сенсорных, аккомодационных и глазодвигательных механизмов у индивидов с нормальным стереоскопическим зрением при восприятии виртуальных стереообъектов.

## **Материалы и методы**

### ***Участники исследования***

В исследовании приняли участие 100 человек в возрасте от 17 до 79 лет (40 мужчин, 60 женщин, средний возраст 32,9 лет) с нормальной или скорректированной до нормы остротой зрения. Испытуемые участвовали в исследовании добровольно, от совершеннолетних было получено информированное согласие на проведение процедуры измерений. Родители (законные представители) несовершеннолетних были проинформированы о проводившемся исследовании и подписали письменное согласие на участие в нем детей.

Условием участия в исследовании явилось наличие нормально функционирующих механизмов бинокулярного стереопсиса и способности к формированию полноценных стереообразов на основе бинокулярной диспаратности. Отбор испытуемых был проведен по результатам успешности восприятия тестовых СТС из классической монографии [17].

### ***Аппаратура и зрительные стимулы***

Экспериментальная установка включала 3D-телевизор фирмы LG для предъявления тестовых стимулов (модель 32LF620U, диагональ 32», ширина экрана 70 см, размер пикселя 0,51 мм, противоположная круговая поляризация четных и нечетных строк), поляризационные очки и подставку-подбородник для фиксации головы испытуемого.

В экспериментах была использована интерактивная компьютерная программа «Фузия», разработанная в ИППИ РАН [2]. Программа генерировала динамические стереопары, имитирующие выход стереообъекта из экрана и движение по направлению к наблюдателю. В качестве тестовых зрительных стимулов использовали СТС, содержащие закодированные диспаратностью стереообъекты — циклопические метки. СТС имели размеры 90×90 мм. Размер отдельных «точек» — элементов СТС — составлял 5×5 пикселей. Генерацию зрительных стимулов для левого и правого глаза осуществляли на четных и нечетных строках экрана на основе круговой поляризационной сепарации левого и правого изображений. Для их раздельного восприятия применяли поляризационные очки.

### ***Процедура исследования***

Перед началом эксперимента испытуемый надевал поляризационные очки и располагался на расстоянии 50 см от экрана телевизора на стуле регулируемой высоты. Голову испытуемого фиксировали на подставке-подбороднике таким образом, чтобы глаза находились на уровне центра экрана.



Этапы экспериментальной процедуры и пример виртуального стереообъекта представлены на рис. 1. В начале измерений в центре экрана появлялась стереопара (рис. 1, а-1), при фузирании которой испытуемый видел квадрат со случайно-точечной текстурой и циклопической меткой, отделяющейся от фона (рис. 1, б). Затем испытуемого знакомили с полным набором меток, использованных в эксперименте (рис. 1, а-2). Когда испытуемый сообщал о своей готовности, экспериментатор запускал программу медленного движения левого и правого стимулов в противоположных направлениях от центра: правый стимул двигался влево, а левый — вправо (рис. 1, а-3). Усилия испытуемого фиксировать каждым глазом центр «своего» стимула вызывали постепенное увеличение угла конвергенции. Скорость движения стимулов по экрану составляла 90 мм/мин, максимальное общее время одного испытания — 2 мин. В процессе движения квадратов циклопические метки на них сменялись в случайном порядке.

Случайно-точечные квадраты служили основным фузионным стимулом, в их восприятии участвовали как монокулярные, так и бинокулярные зрительные механизмы. Восприятие виртуальных циклопических стереообъектов, выполняющих роль метки, обеспечивалось механизмами бинокулярной фузии. Использование циклопических меток позволяло в процессе эксперимента осуществлять контроль сохранения способности к формированию полноценных стереообразов на всем протяжении эксперимента до момента распада сфузированного образа при достижении критических углов конвергенции. В клинической практике конвергентную нагрузку при сведении зрительных осей от исходного угла конвергенции до критического, приводящего к потере фузии, принимают за меру конвергентных фузионных резервов.

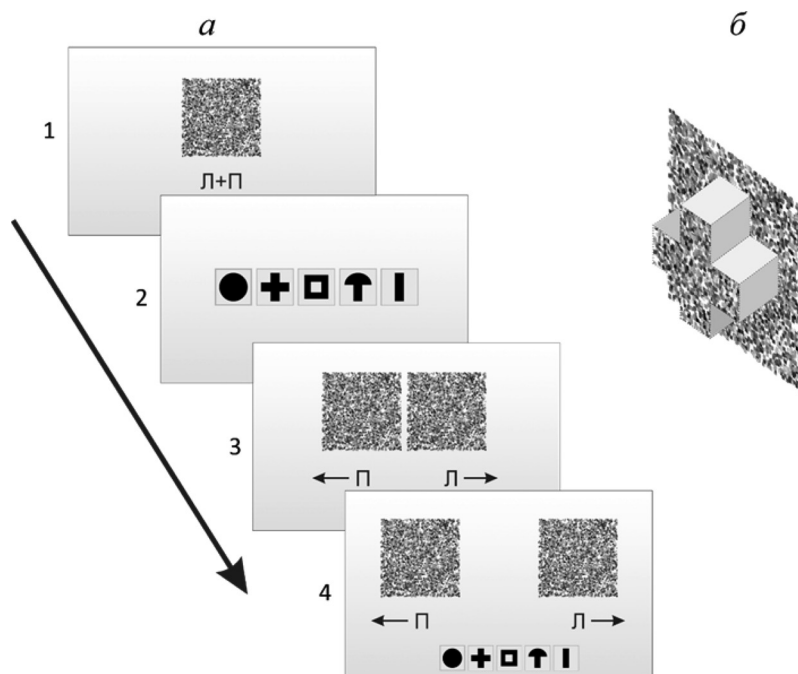
Процедура исследования была основана на стандартных принципах измерения фузионных резервов: движение стимулов по экрану в противоположных направлениях вызывало конвергентные движения глаз и приводило к нарастающему рассогласованию аккомодации и конвергенции; при этом испытуемый должен был как можно дольше удерживать состояние фузии, следя за сменой виртуальных стереообъектов. В конечном итоге увеличение рассогласования приводило к нарушению фузии, исчезновению циклопической метки и диплопии, после чего движение стимулов по экрану останавливали и выводили на экран изображения меток (рис. 1, а-4). Испытуемый должен был указать последнюю воспринятую им метку. Таким образом, в эксперименте была реализована возможность объективно контролировать субъективные показания испытуемых от возникновения виртуального стереообраза до момента его распада без наблюдения за движениями глаз.

Задача испытуемого состояла в наблюдении за динамично сменяющимися стереообъектами и описании возникающих виртуальных зрительных стереообразов: оценки величины стереообъектов, их позиции по глубине и характера движения.

Статистическая обработка данных включала оценку репрезентативности выборочной совокупности и вычисление доверительных границ для относительной величины. Сравнение результатов исследования в группах мужчин и женщин осуществляли при помощи  $\chi^2$ -критерия для оценки однородности двух и более независимых выборок [5].

## Результаты и их обсуждение

В зависимости от длительности процедуры, связанной с индивидуальными значениями фузионных резервов, каждый испытуемый в процессе эксперимента наблюдал сфузированный образ, на котором сменялось от 8 до 30 циклопических меток. Использование меток позволяло убедиться в том, что испытуемый в течение всего эксперимента фузировал тестовую стереопару, на которой происходила смена виртуальных стереообъектов.



*Рис. 1.* Пояснения к методике: а — этапы исследования: 1 — вид экрана в начале эксперимента (левый и правый стимулы совмещены); 2 — показ набора циклопических меток; 3 — вид экрана с движущимися в противоположных направлениях стимулами; 4 — вид экрана с остановленной СТС и появившимся набором меток; б — воспринимаемый вид циклопической метки — креста, возникающего в результате фузирования левого и правого изображений при их раздельном предъявлении через поляризационные очки

Качественный анализ ответов испытуемых позволил выделить 4 типа визуализации виртуальных стереообъектов в условиях эксперимента:

- тип I — стереообраз приближается к наблюдателю и уменьшается в размерах;
- тип II — стереообраз сохраняет позицию в центре экрана либо вблизи экрана и не меняет своих размеров;
- тип III — стереообраз удаляется за экран;
- тип IV (неустойчивое восприятие) — имеют место сложные трансформации воспринимаемого образа: сначала стереообъект выступает из экрана и начинает движение по направлению к наблюдателю, а затем перемещается в противоположную сторону, т. е. назад по направлению к экрану.

Первые три типа схематически представлены на рис. 2, иллюстрацию четвертого типа затрудняет сложная динамика стереообразов.

Количественные данные о соотношении описанных типов восприятия представлены на рис. 3. Видно, что в исследуемой группе только 35 человек воспринимали виртуальные стереообъекты в соответствии с традиционными представлениями и правилами стереографии — как движущиеся от экрана к наблюдателю и меняющие свои размеры (тип I). У 47 испытуемых субъективные отчеты о величине и позиции наблюдаемого стереообъекта свидетельствовали о том, что их стереообразы сохраняли первоначальные размеры и позицию вблизи экрана либо непосредственно на экране (тип II). У 10 человек было выявлено

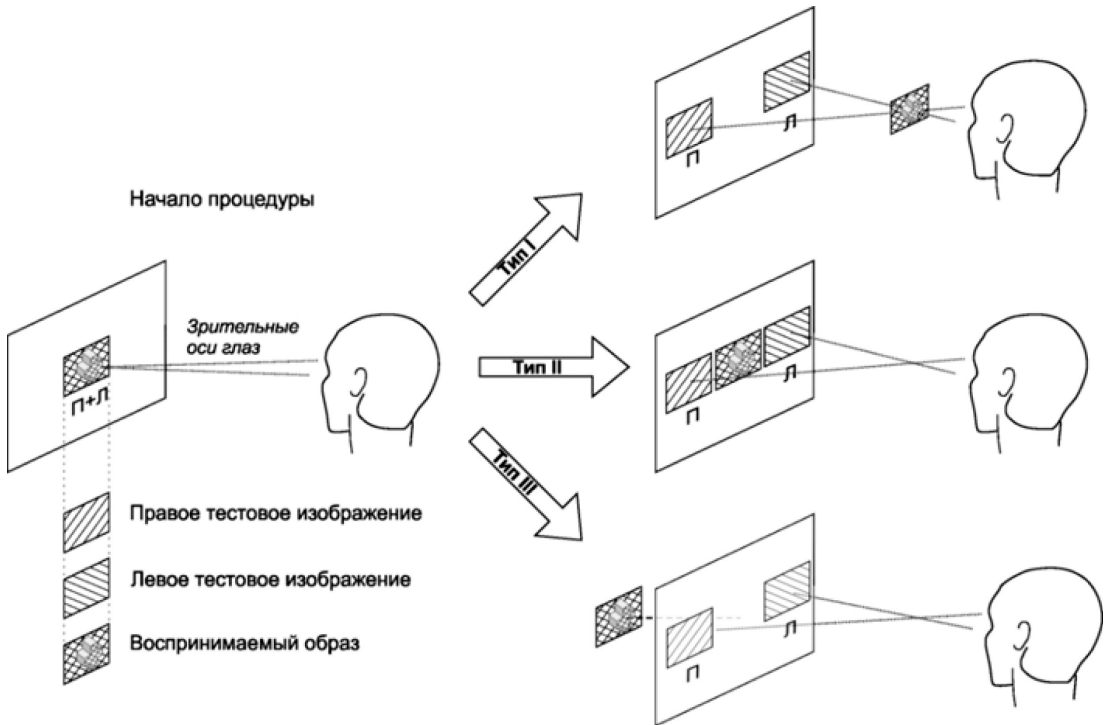


Рис. 2. Типы визуализации виртуальных стереообразов

движение стереообъекта в заэкранное пространство (тип III). У 8 человек на начальном этапе восприятия стереообъект выходил из экрана и приближался к наблюдателю, а затем движение либо прекращалось, либо меняло направление (тип IV).

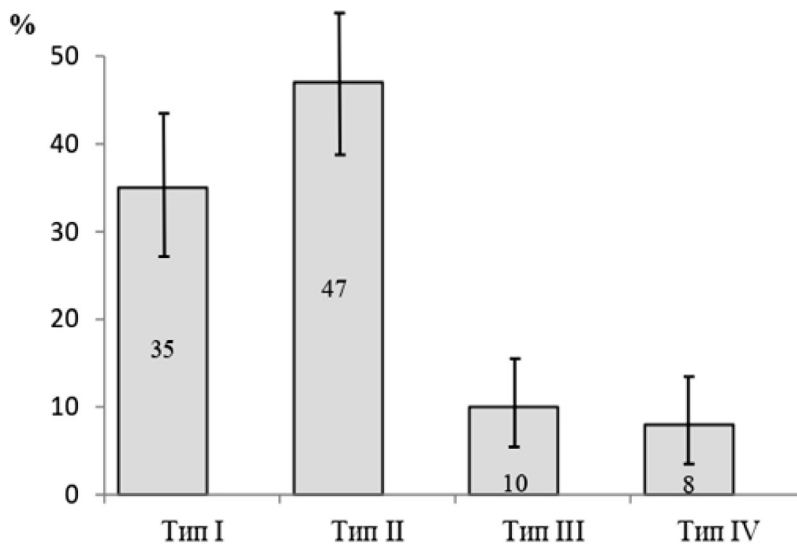


Рис. 3. Распределение наблюдателей по типу восприятия виртуальных стереообъектов (доверительные интервалы рассчитывались по ошибкам репрезентативности)



Полученные в ряде работ данные о половых различиях в показателях восприятия при взаимодействии с искусственными средами [11; 18; 19] ориентируют на анализ наблюдаемых перцептивных эффектов в группах мужчин и женщин. На рис. 4 видно, что в исследованной выборке распределения показателей восприятия виртуальных стереообъектов у мужчин и женщин по типам восприятия являются примерно одинаковым по своему характеру. С учетом погрешности оценок, определяемых числом испытуемых, показатели восприятия стереообъектов у мужчин и женщин статистически значимо не различались.

Таким образом, у индивидов, обладающих полноценными механизмами бинокулярного стереопсиса, в одинаковых режимах наблюдения стереопар, кодирующих объекты, которые выступают из экрана и движутся по направлению к наблюдателю, возникают виртуальные стереообразы, принципиально различающиеся по позиции, величине и характеру движения.

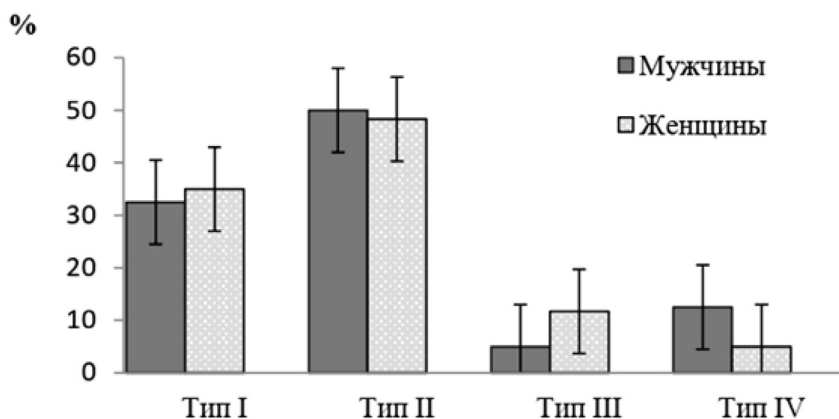


Рис. 4. Соотношение выявленных типов восприятия в группах мужчин и женщин

В созданных нами экспериментальных условиях восприятия, в точности имитирующих кадры стереокино для случая приближающегося и уменьшающегося объекта, аккомодационный стимул соответствовал позиции экрана, а вергенция управлялась положением сопряженных точек на экране. В процессе движения стереопар точка пересечения зрительных осей, каждая из которых была направлена на центр «своего изображения», перемещалась от плоскости экрана по направлению к наблюдателю. Согласно правилам стереографии, при наблюдении движущихся по экрану частей стереопары (правый стимул движется влево, а левый — вправо) постепенное увеличение угла конвергенции должно было сопровождаться изменениями субъективного восприятия расположения стереообъекта по глубине в предэкранном пространстве. Однако такая картина наблюдалась далеко не у всех участников эксперимента. Для обеспечения бинокулярной фузии и сохранения целостного стереообраза в ходе движения стимулов и динамической смены стереометок испытуемые должны были постоянно преодолевать противоречие между состоянием аккомодации и вергенции: аккомодация должна соответствовать расстоянию до экрана, а вергенция должна определяться расстоянием до воспринимаемого виртуального стереообъекта, который может смещаться относительно экрана по глубине. Успешное создание стереообразов зависело от взаимодействия окуломоторного и сенсорного компонентов фузии. Окуломоторный компонент (глазодвигательный рефлекс) создавал условия для фовеации — удерживания изображения объекта на центральных участках сетчаток благодаря отслеживанию движением глаз его





постепенного перемещения. Сенсорный компонент (собственно фузия) обеспечивал процесс слияния двух монокулярных изображений и создание единого образа.

Если при формировании стереообраза мозговые механизмы учитывают движения зрительных осей, то положение стереообраза будет совпадать с точкой пересечения линий взора и по мере приближения к наблюдателю его величина будет уменьшаться (тип I). Если информация о движении зрительных осей не принимается во внимание (игнорируется мозгом), формируемый виртуальный стереообраз будет интерпретироваться как сохраняющий свои позицию и исходные размеры (тип II). Если в функциональной системе будут доминировать влияния со стороны монокулярных зрительных подсистем, передающих информацию об увеличении расстояния до наблюдаемого виртуального стереообъекта, а информация о движении зрительных осей будет игнорироваться, стереообраз будет казаться удаляющимся за экран (тип III). При отсутствии явного доминирования одного из механизмов можно ожидать проявлений динамической конкуренции в виде смены интерпретации входных сигналов и трансформации формирующихся стереообразов (тип IV).

В условиях проводимого эксперимента в разные мозговые подсистемы анализа зрительной информации поступают весьма противоречивые сигналы о величине и позиции тест-объекта, которые трудно согласовать между собой, исходя из простых гипотез о виде и движении наблюдаемого объекта. Поступающие сигналы обрабатываются параллельно функционирующими монокулярными и бинокулярными механизмами, которые могут вносить разный вклад в формируемый видимый образ. Например, очевидно, что в каждом монокулярном канале поступающая информация свидетельствует об увеличении расстояния от глаза до объекта, а в чисто бинокулярном канале — об уменьшении расстояния до объекта. Но при этом испытуемый знает, что изображение «привязано» к экрану. Однозначное решение в таких условиях найти невозможно, поэтому возникают разные варианты визуализации наблюдаемой сцены.

Зрительная система учитывает сходство и различие левого и правого сетчаточных изображений, состояние аккомодационно-конвергентного аппарата глаз, а также результаты процессов когнитивной обработки и обобщения в высших мозговых центрах накопленного зрительного опыта. Существование принципиальных различий между наблюдателями в отношении характера формируемых образов свидетельствует о возможности неоднозначной интерпретации сетчаточных изображений в этих условиях и возможном доминировании у разных наблюдателей различных механизмов, вносящих вклад в эту интерпретацию. В условиях естественных зрительных сцен механизмы, осуществляющие аккомодационно-вергенционную связь, настраивают мышцы, управляющие аккомодацией и вергенцией на одно и то же расстояние наблюдения. В искусственно создаваемых средах при рассмотрении динамической стереопары в их работе может происходить рассогласование, обусловленное тем, что при восприятии стереоизображения аккомодация должна соответствовать расстоянию до экрана, а вергенция должна определяться расстоянием до воспринимаемого виртуального стереообъекта, который может смещаться относительно экрана по глубине.

Естественно предполагать, что на формирование видимого образа виртуального объекта в условиях стереоскопического восприятия влияет не только зрелость различных механизмов и степень их востребованности/тренированности в профессиональной или повседневной жизни при решении зрительных задач, но и необходимость адаптации, динамической перестройки функциональных взаимоотношений в зрительной системе при переходе от естественных условий восприятия к деятельности в искусственной среде. Неизбежная неоднозначность сиг-



налов, поступающих в зрительную сенсорную, аккомодационную и окуломоторную системы в условиях наблюдения виртуальной реальности, и их отличия от сигналов, поступающих при наблюдении естественных сцен, обуславливают специфические трудности формирования образов виртуальных объектов и необходимость выбора гипотез, наиболее правдоподобных с точки зрения индивидуального опыта. Полученные в наших экспериментах результаты являются отражением динамической саморегуляции, координации и интеграции механизмов анализа множества входящих сигналов и согласуются с представлениями об избирательной реорганизации зрительного процесса как основы адаптивного поведения человека [1; 10; 21].

### Выводы

1. В одних и тех же условиях зрительной стимуляции, имитирующих движение виртуальных стереобъектов от экрана к наблюдателю, обнаружена межиндивидуальная вариабельность в особенностях восприятия. Наблюдаемые пространственные эффекты можно подразделить на 4 типа: тип I — стереобраз приближается к наблюдателю и уменьшается в размерах; тип II — стереобраз сохраняет позицию в центре экрана либо вблизи экрана и не меняет своих размеров; тип III — стереобраз удаляется за экран; тип IV (неустойчивое восприятие) — стереобраз подвергается сложным трансформациям.

2. Разные типы перцептивных пространственных стереоскопических эффектов являются результатом различий в координированной совместной деятельности различных модулей зрительной сенсорной, аккомодационной и глазодвигательной систем, направленной на адаптацию к искусственно создаваемой среде, которая протекает схожим образом, как у наблюдателей мужского, так и у наблюдателей женского пола.

3. Сложная гетерархическая организация зрительной системы и совместная работа целого комплекса зрительных механизмов обуславливает индивидуальную вариабельность формирования операционального компонента функциональной системы, реализующей психофизиологический процесс восприятия виртуальных стереобъектов.

4. Описанные феномены поднимают вопросы персонифицированности применяемых методов и подходов, основанных на технологиях виртуальной реальности. Индивидуальные особенности стереовосприятия в искусственно создаваемой среде ориентируют на разработку обучающих и тренировочных программ, которые будут обеспечивать оптимальное использование различных средств стереовизуализации.

### Литература

1. Барабанчиков В.А. Общая психология: психология восприятия. М.: Юрайт, 2020. 184 с.
2. Большаков А.С., Рожкова Г.И. Интерактивная тестовая программа для оценки состояния и тренировки фузионных механизмов бинокулярного зрения ФУЗИЯ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013610975 от 09.01.2013.
3. Бонч-Осмоловский А.М., Петров А.П. Модели и алгоритмы стереосинтеза. М.: Ин-т атом. энергии имени И.В. Курчатова, 1983. 76 с.
4. Величковский Б.Б. и др. Когнитивный контроль и чувство присутствия в виртуальных средах // Экспериментальная психология. 2016. Том 9. № 1. С. 5–20. DOI:10.17759/expsy.2016090102
5. Ермолаев О.Ю. Математическая статистика для психологов. М.: ФЛИНТА, 2019. 336 с.
6. Ковязина М.С. и др. Инновационные инструментальные технологии в системе клинико-психологической диагностики и реабилитации // Вестник РФФИ. 2019. № 4(104). С. 2–30. DOI: 10.22204/2410-4639-2019-104-04-23-30
7. Рожкова Г.И. Бинокулярное зрение // Физиология зрения / Под ред. А.Л. Бызова. М.: Наука, 1992. С. 586–664.



8. Рожкова Г.И. Случайно-точечные стереограммы: уникальные инструменты для изучения, оценки и тренировки бинокулярных механизмов восприятия глубины // Мир техники кино. 2016. 4(10). С. 7–13.
9. Селиванов В.В., Побоккин П.А., Бабиева Н.С. Влияние образовательных и тренинговых программ в виртуальной реальности на личностные характеристики испытуемых // Психология обучения. 2019. № 1. С. 18–28
10. Судаков К.В. Системная организация психической деятельности // Психологический журнал. 2013. Том 34. № 6. С. 72–81.
11. Astur R.S. *et al.* Sex differences and correlations in a virtual Morris water task, a virtual radial arm maze, and mental rotation // Behavioural brain research. 2004. Vol. 151. Iss. 1–2. P. 103–115. DOI:10.1016/j.bbr.2003.08.024
12. Blake R., Fox R. The psychophysical inquiry into binocular summation // Jbid. 1973. Vol. 14. P. 161–185.
13. Banks M.S. *et al.* 3D Displays // Annual review of vision science. 2016. Vol. 2. P. 397–435.
14. Hands P., Smulders T.V., Read J. Stereoscopic 3-D content appears relatively veridical when viewed from an oblique angle // J. Vis. 2015. Vol. 15(5): 6. P. 1–21.
15. Hibbard P.B., Haines A.E., Hornsey R.L. Magnitude, precision, and realism of depth perception in stereoscopic vision // Cogn. research. 2017. Vol. 2. № 25. DOI:10.1186/s41235-017-0062-7
16. Howard I.P., Rogers B.J. Perceiving in depth. Vol. 2. Stereoscopic vision. Oxford: Oxford University Press, 2012. 635 p.
17. Julesz B. Foundations of cyclopean perception. Chicago: Univ. Chicago Press, 1971. 406 p.
18. Menshikova G.Ya. *et al.* Gender differences in interactions with avatars of diverse ethnic appearances // Psychology in Russia: State of the Art. 2018. Vol. 11. Iss. 4. DOI: 10.11621/pir.2018.0414
19. Nori R. *et al.* The virtual reality Walking Corsi Test // Computers in human behavior. 2015. Vol. 48. P. 72–77. DOI:10.1016/j.chb.2015.01.035
20. Rogers B. Perception: a very short introduction. OUP Oxford University press, 2017. 162 p.
21. Tyler C.W. An accelerated cue combination principle accounts for multi-cue depth perception // Journal of perceptual imaging. Society for imaging science and technology. 2020. 3(1): 010501-1–010501-9. DOI: 10.2352/J.Percept.Imaging.2020.3.1.010501
22. Uji M. *et al.* Identifying cortical substrates underlying the phenomenology of stereopsis and realness: A pilot fMRI study // Front. Neurosci. 2019. 13:646. DOI: 10.3389/fnins.2019.00646
23. Westheimer G. Three-dimensional displays and stereo vision // Proc. R. Soc. B. 2011. 278. P. 2241–2248. DOI: 10.1098/rspb.2010.2777

## References

1. Barabanshikov V.A. Obshchaya psihologiya: psihologiya vospriyatiya [General Psychology: Psychology of Perception]. Moscow: *Yurayt Publ.*, 2020. 184 p. (In Russ.).
2. Bol'shakov A.S., Rozhkova G.I. Interaktivnaya testovaya programma dlja otsenki sostoyaniya i trenirovki fuzionnykh mekhanizmov binokulyarnogo zreniya FUSIJA. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja EVM [Interactive test program for assessing the condition and training of fusion mechanisms of binocular vision Fusion. Certificate of state registration of the program for EVM]. № 2013610975 09.01.2013. (In Russ.).
3. Bonch-Osmolovskij A.M., Petrov A.P. Modeli i algoritmy stereosinteza [Stereo synthesis models and algorithms]. Moscow: *In-t atom. energiiim. I.V. Kurchatova*, 1983. 76 p. (In Russ.).
4. Velichkovsky B.B. *et al.* Kognitivnyj kontrol' i chuvstvo prisutstviya v virtual'nyh sredah [Cognitive control and a sense of presence in virtual environments]. *Experimentalnaja Psikhologija = Experimental Psychology*, 2016. Vol. 9, no.1, pp. 5–20. DOI: 10.17759/exppsy.2016090102. (In Russ.; abstr. in Engl.)
5. Ermolaev O.Yu. Matematicheskaya statistika dlya psikhologov [Math statistics for psychologists]. Moscow: *FLINT*, 2019. 336 p. (In Russ.).
6. Kovyazina M.S. *et al.* Innovacionnye instrumental'nye tekhnologii v sisteme kliniko-psihologicheskoy diagnostiki i rehabilitacii [Innovative Instrumental Technologies in the System of Clinical and Psychological Diagnosis and Rehabilitation]. *Vestnik RFFI= Russian Foundation for Basic Research*, 2019. no. 4 (104), pp. 23–30. DOI: 10.22204/2410-4639-2019-104-04-23-30. (In Russ.).
7. Rozhkova G.I. Binokulyarnoe zrenie [Binocular vision]. In Byzov A.L. (ed.), *Fiziologiya zreniya [Visual physiology]*. Moscow: *Nauka*, 1992, pp. 586–664. (In Russ.).
8. Rozhkova G.I. Sluchajno-tochechnye stereogrammy: unikal'nye instrumenty dlya izucheniya, otsenki i trenirovki binokulyarnyh mekhanizmov vospriyatiya glubiny [Random-dot stereograms: the unique tools



- for studying, testing and training brain mechanisms of binocular depth perception]. *Mir tekhniki kino = World of technique of cinema*, 2016. Vol. 4 (10), pp. 7–13. (In Russ.).
9. Selivanov V.V., Pobokin P.A., Babieva N.S. Vliyanie obrazovatel'nyh i treningovyh programm v virtual'noj real'nosti na lichnostnye kharakteristiki ispytuemyh [The impact of the educational and training programs in virtual reality on personal characteristics of the subjects]. *Psikhologiya obucheniya = Educational psychology*, 2019. no. 1, pp. 18–28. (In Russ.).
  10. Sudakov K.V. Sistemnaya organizaciya psikhicheskoy deyatel'nosti [System organization of mental activity]. *Psikhologicheskij zhurnal = Psychology journal*, 2013. Vol. 34, no. 6, pp. 72–81. (In Russ.).
  11. Astur R.S. et al. Sex differences and correlations in a virtual Morris water task, a virtual radial arm maze, and mental rotation. *Behavioural brain research*, 2004. Vol. 151, Issue 1–2, pp. 103–115. DOI: 10.1016/j.bbr.2003.08.024
  12. Blake R., Fox R. The psychophysical inquiry into binocular summation. *Jbid*, 1973. Vol. 14, pp. 161–185.
  13. Banks M.S. et al. 3D Displays // Annual review of vision science. 2016. Vol. 2. P. 397–435.
  14. Hands P., Smulders T.V., Read J. Stereoscopic 3-D content appears relatively veridical when viewed from an oblique angle. *J. Vis*, 2015. Vol. 15 (5), no. 6, pp. 1–21.
  15. Hibbard P.B., Haines A.E., Hornsey R.L. Magnitude, precision, and realism of depth perception in stereoscopic vision. *Cogn. research*, 2017. Vol. 2, no. 25. DOI:10.1186/s41235-017-0062-7
  16. Howard I.P., Rogers B.J. Perceiving in depth. Vol. 2. Stereoscopic vision, Oxford: *Oxford University Press*, 2012. 635 p.
  17. Julesz B. Foundations of cyclopean perception. Chicago: *Univ. Chicago Press*, 1971. 406 p.
  18. Menshikova G.Ya. et al. Gender differences in interactions with avatars of diverse ethnic appearances. *Psychology in Russia: State of the Art*, 2018. Vol. 11, Issue 4. DOI: 10.11621/pir.2018.0414.
  19. Nori R. et al. The virtual reality Walking Corsi Test. *Computers in human behavior*, 2015. Vol. 48, pp. 72–77. DOI: 10.1016/j.chb.2015.01.035
  20. Rogers B. Perception: a very short introduction. OUP *Oxford University press*, 2017. 162 p.
  21. Tyler C.W. An accelerated cue combination principle accounts for multi-cue depth perception. *Journal of perceptual imaging. Society for imaging science and technology*, 2020. Vol. 3 (1): 010501-1-010501-9. DOI: 10.2352/J.Percept.Imaging.2020.3.1.010501
  22. Uji M. et al. Identifying cortical substrates underlying the phenomenology of stereopsis and realism: A pilot fMRI study. *Front. Neurosci*, 2019. Vol. 13:646. DOI: 10.3389/fnins.2019.00646
  23. Westheimer G. Three-dimensional displays and stereo vision. *Proc. R. Soc. B*, 2011. Vol. 278, pp. 2241–2248. DOI: 10.1098/rspb.2010.2777

### **Информация об авторах**

*Васильева Надежда Николаевна*, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории «Зрительные системы», Институт проблем передачи информации имени А.А. Харкевича РАН (ИППИ РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8919-3069>, e-mail: [nn\\_vasilyeva@mail.ru](mailto:nn_vasilyeva@mail.ru)

*Рожкова Галина Ивановна*, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории «Зрительные системы», Институт проблем передачи информации имени А.А. Харкевича РАН (ИППИ РАН), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3233-7965>, e-mail: [gir@iitp.ru](mailto:gir@iitp.ru)

### **Information about the authors**

*Nadezhda N. Vasilyeva*, D. Sci in Biology, PhD, Assistant Professor, Leading Researcher, Vision Systems Laboratory, Institute for Information Transmission Problems, Russian Academy of Sciences (Kharkevich Institute), Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8919-3069>, e-mail: [nn\\_vasilyeva@mail.ru](mailto:nn_vasilyeva@mail.ru)

*Galina I. Rozhkova*, D. Sci in Biology, PhD, Professor, Principal Researcher, Vision Systems Laboratory, Institute for Information Transmission Problems, Russian Academy of Sciences (Kharkevich Institute), Moscow, Russia, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3233-7965>, e-mail: [gir@iitp.ru](mailto:gir@iitp.ru)

Получена 30.06.2020

Received 30.06.2020

Принята в печать 01.09.2021

Accepted 01.09.2021