

УДК 778.534.1+612.843.721

ББК 28.707.392.224

*Белокопытов А. В., Рожкова Г. И., Кузнецова И. Н.*

**ПАРАДОКСАЛЬНОЕ ВИДИМОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ  
СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ, ДВИЖУЩИХСЯ  
ПО ГЛУБИНЕ В СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИ  
ЗАДАВАЕМОЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ**

Белокопытов Александр Викторович

E-mail: [abelokopytov@gmail.com](mailto:abelokopytov@gmail.com)

SPIN-код: 9432-0645, ORCID: 0000-0001-9698-7206

Институт проблем передачи информации имени А. А. Харкевича  
Российской академии наук

Рожкова Галина Ивановна, доктор биологических наук, кандидат  
физико-математических наук, профессор

E-mail: [gir@iitp.ru](mailto:gir@iitp.ru)

SPIN-код: 9628-8695, ORCID: 0000-0002-3233-7965

Институт проблем передачи информации имени А. А. Харкевича  
Российской академии наук

Кузнецова Ирина Николаевна

E-mail: [irkuz77819@gmail.com](mailto:irkuz77819@gmail.com)

Институт проблем передачи информации имени А. А. Харкевича  
Российской академии наук

Ранее у взрослых испытуемых было выявлено 4 типа стереоскопического зрительного восприятия в условиях компьютерной имитации движения стереобъектов, задаваемых стереограммами из случайных точек (СТС), от экрана к наблюдателю. При замене СТС на стереопару для сли-

яния стимула «Кошка», аналогичного классическому из комплекта для синоптофора, было обнаружено парадоксальное расчленение стимула при его движении по глубине: уши отставали от тела кошки. Из 17 обследованных испытуемых эффект был обнаружен у большинства испытуемых, относившихся к типу I (7 из 9), и у некоторых, относившихся к типу II (2 из 7). Предположительное объяснение обнаруженного эффекта парадоксального расчленения сложного объекта мы связываем с механизмом оценки расстояния на основе конвергентных движений глаз. Обнаруженный эффект — ещё один возможный источник зрительного дискомфорта в динамических сценах стереокино.

**Ключевые слова:** стереоскопическое зрение, бинокулярная фузия, виртуальные стереообъекты, индивидуальная вариабельность, восприятие стереофильмов, зрительный дискомфорт.

## ВВЕДЕНИЕ

В предыдущих работах нашей лаборатории [2, 3] было выявлено 4 типа стереоскопического зрительного восприятия, наблюдаемых в экспериментальных условиях компьютерной имитации движения стереообъектов, задаваемых стереограммами из случайных точек (СТС), от экрана к наблюдателю. Для краткости они были обозначены как тип I (стереографический), если стереообъект располагался в точке пересечения зрительных осей наблюдателя, как тип II, если стереообъект оставался в плоскости экрана, как тип III, если стереообъект находился за экраном, и как тип IV, если восприятие стереообъекта было неустойчивым.

Вопрос, зависит ли выявленная типизация от условий наблюдения (знака вергенции, скорости движения, типа стереообъектов и др.) остаётся неясным. Результаты первой части исследования этого вопроса изложены в [8].

Для вышеописанной типизации использовали СТС-стереообъекты двойной структуры: на квадратном поле СТС диспаратностью была закодирована циклопическая метка (стереорельеф) простой геометрической формы. Наблюдатель мог воспринимать расстояние до объекта и стереорельеф. Наблюдатели всех типов воспринимали стереорельеф, но наблюдатели типа I также воспринимали движение стереообъекта от плоскости экрана, а для наблюдателей типа II весь стереообъект был как бы привязан к плоскости экрана. Таким образом, все типы наблюдателей воспринимали стереорельеф на основе бинокулярной диспаратности, но у наблюдателей

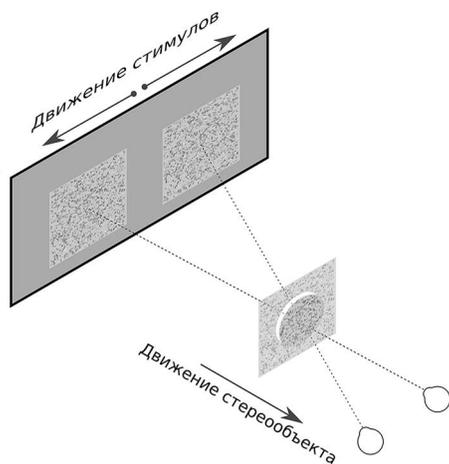


Рис. 1 Схема восприятия движущегося СТС-стереобъекта с циклопической меткой в виде круга наблюдателем типа I в условиях конвергентного движения зрительных осей

типа I весь стереобъект отделялся от экрана за счёт бинокулярной конвергенции (рис. 1).

В настоящем сообщении изложены результаты второй части исследования. Представляет интерес вопрос о сохранении типизации при восприятии монокулярно узнаваемых простых объектов, аналогичных традиционным объектам для слияния, используемым

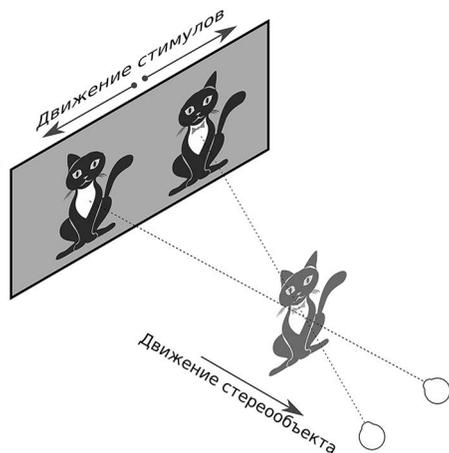


Рис. 2. Ожидаемое восприятие движущегося традиционного стимула наблюдателем типа I в условиях конвергентного движения зрительных осей

в синоптофоре: объекты для левого и правого глаз отличаются малыми деталями. Ожидалось, что восприятие таких стимулов наблюдателями типа I будет аналогично восприятию СТС-стереообъекта, как показано на рис. 2.

Однако обнаружилось парадоксальное расчленение таких объектов при компьютерной имитации движения стереообъекта от экрана к наблюдателю. Анализ этого эффекта посвящена данная работа.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Испытуемые

В экспериментах участвовали 17 человек (8 женского пола, 9 мужского). Организация исследования соответствовала принципам биомедицинской этики, представленным в Хельсинкской декларации 1964 г. и её последующих обновлениях [11]. Эксперименты проводились в условиях привычной оптической коррекции зрения испытуемого.

### Стимулы

Стимулы предъявляли на 3D-дисплее и на синоптофоре СИНФ-1.

С помощью программы «Фузия», разработанной в ИППИ РАН [1, 7], на поляризационном 3D-дисплее (LG 2342P) на сером фоне экрана предъявляли СТС — 2 варианта стимула «Кошка» и стимул «Диски». На рис. 3 показан вариант стимула «Кошка-0», аналогичный одному из традиционных стимулов для слияния, входящих в комплект синоптофора. Расстояние наблюдения было 0,5 м, скорость движения стимулов составляла 0,2 или 0,4 °/с.

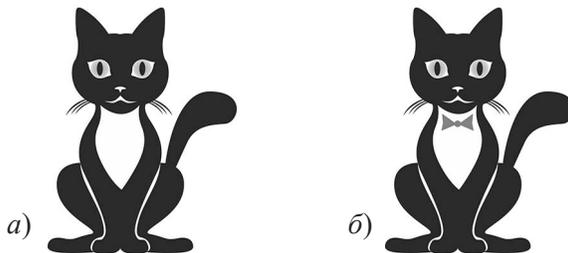


Рис. 3. Стимул «Кошка-0» для левого (а) и правого (б) глаза



Рис. 4. Увеличенные фрагменты стимулов «Кошка-0» (а) и «Кошка-1» (б) в области соприкосновения левого уха с головой

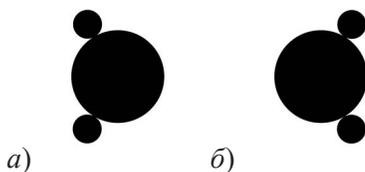


Рис. 5. Стимул «Диски» для левого (а) и правого (б) глаза

Для предъявления на синоптофоре левый и правый стимулы «Кошка-0» были напечатаны на прозрачной плёнке фирмы 3М артикул CG3700 на лазерном принтере и вставлены в рамки для слайдов 6×6 см.

Стимул «Кошка-1» отличался от стимула «Кошка-0» отсутствием зазора между ушами и головой, как показано на рис. 4.

Для изучения условий парадоксального расчленения также был добавлен стимул «Диски», показанный на рис. 5.

### Процедура

Сначала определяли тип восприятия испытуемого по первоначальному критерию с помощью СТС в режиме конвергенции.

Затем предъявляли стимул «Кошка-0» и просили испытуемого обратить внимание на видимое расстояние до стереообъекта и на положение ушей относительно туловища. Запускали движение частей стимула «Кошка-0», вызывающее конвергенцию зрительных осей. В протокол заносили отчёт испытуемого о восприятии стимула — его движении к испытуемому или от него, изменении размеров.

На нескольких испытуемых типа I проверили восприятие в других условиях:

- 1) предъявляли модифицированный стимул «Кошка-1», у которого была удалена щель между ушами и головой;
- 2) исследовали восприятие стимула «Кошка-0» на синоптофоре;
- 3) исследовали восприятие стимула «Диски» при конвергенции зрительных осей.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

При тестировании с помощью СТС из общего числа испытуемых (17 чел.) было выявлено 9 испытуемых типа I (5 мужского

пола, 4 женского), 7 испытуемых типа II (3 мужского пола, 4 женского) и один испытуемый типа IV мужского пола.

При конвергентном движении частей стимула у испытуемых типа I стереобраз стимула «Кошка-0» двигался по направлению к испытуемому, у испытуемых типа II — оставался в плоскости экрана. У двух испытуемых (одного типа II и одного типа IV) фузия разрушалась почти сразу после начала движения.

У 10 испытуемых (7 типа I, 2 типа II и один типа IV) восприятие стимула «Кошка-0» в режиме конвергенции было парадоксальным: при общем движении стереобраза по направлению к испытуемому уши отставали и оказывались заметно позади головы кошки (примерно на размер головы). Эта ситуация схематически показана на рис. 6.

У нескольких испытуемых типа I с парадоксальным восприятием уши не только отставали, но и сливались в одно, другие испытуемые сообщали, что «уши колеблются по горизонтали».

На нескольких испытуемых типа I с парадоксальным восприятием стимула «Кошка-0» было проверено восприятие ими стимула «Кошка-1» — восприятие оставалось таким же парадоксальным.

Также на этих испытуемых было проверено восприятие стимула «Кошка-0» на синоптофоре — эффект парадоксального расчленения был едва заметным.

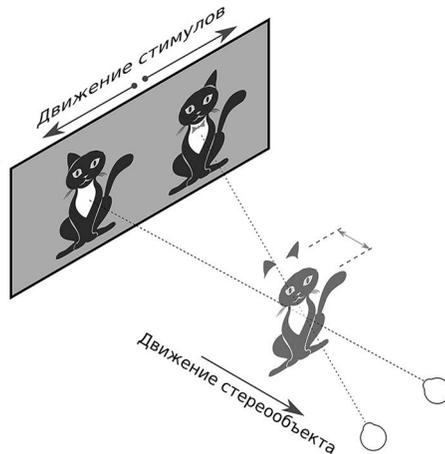


Рис. 6. Парадоксальное восприятие движущегося стимула «Кошка-0»

## **ОБСУЖДЕНИЕ**

Замена СТС-стереообъектов более простым монокулярно узнаваемым стимулом на слияние привело к обнаружению парадоксального восприятия такого стимула.

Эффект парадоксального восприятия наблюдался не у всех испытуемых типа I, но у большинства из них (7 из 10). В отличие от них, эффект наблюдался только у некоторых испытуемых типа II (2 из 7). Таким образом, наличие эффекта связано с типом испытуемого, но нет жёсткой привязки к типу.

Было выяснено, что причиной парадоксального эффекта не является наличие зазора между ушами и головой у стимула «Кошка0»: для нескольких испытуемых типа I эффект сохранялся со стимулом «Кошка-1» (без зазора между ушами и головой).

Нескольким испытуемым типа I предъявляли стимул «Кошка-0» на синоптофоре, при этом эффект почти исчезал. Впрочем, на синоптофоре практически невозможно обеспечить равномерное движение стимулов с заданной скоростью.

Из полученных данных естественно следует предположение, что эффект связан с механизмом оценки расстояния на основе бинокулярной конвергенции.

В литературе многократно обсуждалось влияние конвергентного движения зрительных осей на стереопсис, единого мнения нет, как указано в обзорах [6, 9, 10]. В наших условиях наблюдения у многих испытуемых этот механизм оценки расстояния проявлялся, на основании чего они были отнесены к типу I. Отметим, что использованные скорости движения стимулов (0,2 и 0,4 °/с) попадали в диапазон скоростей, при которых воспринималось перемещение точки по глубине по данным работы [4].

Известно, что зрительная система может фузировать частично совпадающие стимулы, однако чем больше различий, тем труднее фузировать. Левое и правое уши стимула «Кошка-0» различаются достаточно сильно, поэтому у большинства испытуемых они не сливались.

Для дальнейшего изучения парадоксального эффекта было желательно использовать стимул на слияние с одинаковыми малыми частями для облегчения фузирования. Параллельно решили уменьшить когнитивную составляющую стимула (его узнаваемость), сделав его более абстрактным. Исходя из этих соображений, был предложен стимул «Диски», показанный на рис. 5.

Восприятие стимула «Диски» было проверено на нескольких испытуемых типа I в условиях конвергентного движения. Оказалось, что для такого стимула зрительная система предлагает два варианта восприятия. Если внимание испытуемого направлено на большой центральный диск, то он видит пару маленьких дисков снизу и сверху, удалённых от центрального на некоторое расстояние. Если внимание испытуемого направлено на маленькие диски, например, верхние, то верхние и нижние маленькие диски сливаются, оставаясь позади центрального диска, который раздваивается.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предположительное объяснение обнаруженного эффекта парадоксального расчленения сложного объекта мы связываем с механизмом оценки расстояния на основе конвергентных движений глаз, который проявляется у людей со стереографическим типом восприятия стереообъектов.

Бинокулярная диспаратность в отличие от оценки расстояния с помощью конвергенции зрительных осей не может создать большого по глубине стереоэффекта (пространственного диапазона). Поэтому в стереокино используется в основном «горизонтальный параллакс» (профессиональный термин, эквивалентный оценке расстояния на основе конвергентных движений глаз) [5]. То есть, стереокино ориентируется на «стереографических» зрителей типа I.

Обнаруженное парадоксальное расчленение сложного динамического стереообъекта для стереографических зрителей может быть ещё одним источником дискомфорта в динамических сценах стереокино.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *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. Дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ 9 января 2013 г.

2. *Васильева Н. Н., Рожкова Г. И.* Восприятие виртуальных стереообъектов: особенности взаимодействия зрительных механизмов и пространственные перцептивные эффекты // Экспери-

ментальная психология. 2021. Т. 14. № 3. С. 79–90. DOI: 10.17759/expsy.2021140306.

3. *Васильева Н. Н., Рожкова Г. И., Грачева М. А.* Неоднозначное восприятие величины и позиции виртуальных стереообъектов // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: X Международная научно-практическая конференция, Москва, 16–18 апреля 2018 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О. Н. Раева. Москва : ВГИК, 2019. С. 62–72.

4. *Коган А. И., Бурый Г. В., Остроухов М. З.* К теории зрительного восприятия движения объекта // ДАН СССР, 1973. Т. 211. № 4. С. 966–969.

5. *Мелкумов А. С.* Основы стереографии // Мир техники кино. 2010. № 4(18). С. 30–38.

6. *Рожкова Г. И.* Бинокулярное зрение // Физиология зрения / ред. А. Л. Бызов. Москва : Наука, 1992.

7. *Рожкова Г. И., Васильева Н. Н.* Компьютерный метод оценки фузионных резервов с объективным контролем нарушения фузии // Физиология человека. 2010. № 3. С. 135–137.

8. *Рожкова Г. И., Васильева Н. Н., Белокопытов А. В.* Индивидуальные особенности формирования виртуальных стереообъектов, выявляемые при различных условиях измерения фузионных резервов // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе, науке, образовании, медиа и в других областях: XVII Международная научно-практическая конференция, Москва, 7–11 апреля 2025 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О. Н. Раева. Москва : ИПП «КУНА», 2025. С. 37–52.

9. *Howard I. P.* Perceiving in Depth: Volume 3 Other Mechanisms of Depth Perception. Oxford University Press. 2012. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780199764167.001.0001.

10. *Tyler C. W.* Binocular Vision / Duane's Foundations of Clinical Ophthalmology. Vol. 2. Tasman W., Jaeger E. A. (Eds.), J. B. Lippincott Co.: Philadelphia, 2004.

11. World Medical Association. declaration of Helsinki ethical principles for medical research involving human subjects. JAMA. 2013. Vol. 310(20). P. 2191–2194. DOI: 10.1001/jama.2013.281053 (дата обращения: 25.04.2025).

*Alexander V. Belokopytov, Galina I. Rozhkova, Irina N. Kuznetsova*

**PARADOXICAL VISIBLE DISSECTION OF COMPLEX OBJECTS MOVING IN DEPTH IN STEREOSCOPICALLY DEFINED VIRTUAL REALITY**

Alexander V. Belokopytov

E-mail: [abelokopytov@gmail.com](mailto:abelokopytov@gmail.com)

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

Galina I. Rozhkova, PhD, DSci, Professor

E-mail: [gir@iitp.ru](mailto:gir@iitp.ru)

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

Irina N. Kuznetsova

E-mail: [irkuz77819@gmail.com](mailto:irkuz77819@gmail.com)

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

Previously, 4 types of stereoscopic visual perception were identified in adult subjects in computer simulation of the stereo objects movement, set by random dot stereograms (RDS), from the screen to the observer. When replacing the RDS with a stereo pair “Cat” for the fusion similar to the classic one from the synoptophore kit, a paradoxical dissection of the stimulus was found during its movement in depth: the ears lagged behind the cat’s body.

Of the 17 subjects examined, the effect was found in the majority of type I subjects (7 out of 9) and in some type II subjects (2 out of 7). We associate the proposed explanation of the discovered effect of paradoxical dissection of a complex object with the mechanism of depth perception based on convergent eye movements. The discovered effect is another possible source of visual discomfort in dynamic scenes of the stereo films.

**Key words:** stereo vision, binocular fusion, virtual stereo objects, individual variability, perception of stereo films, visual discomfort.

**REFERENCES**

1. Bol’shakov A. S., Rozhkova G. I. Interaktivnaya testovaya programma dlya otsenki sostoyaniya i trenirovki fuzionnykh mekhanizmov binokulyarnogo zreniya — FUZIYa. Svidetel’stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM No 2013610975. Data registratsii v Reestre programm dlya EVM 9 January 2013.

2. Vasil'eva N. N., Rozhkova G. I. Vospriyatie virtual'nykh stereoob'ektov: osobennosti vzaimodeistviya zritel'nykh mekhanizmov i prostranstvennye pertseptivnye efekty // Eksperimental'naya psikhologiya. 2021. T. 14. No 3. P. 79–90. DOI: 10.17759/exppsy.2021140306.

3. Vasil'eva N. N., Rozhkova G. I., Gracheva M. A. Neodnoznachnoe vospriyatie velichiny i pozitsii virtual'nykh stereoob'ektov // Zapis' i vosproizvedenie ob'emnykh izobrazhenii v kinematografe i drugikh oblastiakh: X Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moscow, 16–18 April 2018: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O. N. Raeva. Moscow : VGIK, 2019. P. 62–72.

4. Kogan A. I., Buryi G. V., Ostroukhoe M. Z. K teorii zritel'nogo vospriyatiya dvizheniya ob'ekta // DAN SSSR, 1973. T. 211. No 4. P. 966–969.

5. Melkumov A. S. Osnovy stereografii // Mir tekhniki kino. 2010. No 4(18). P. 30–38.

6. Rozhkova G. I. Binokulyarnoe zrenie // Fiziologiya zreniya / red. A. L. Byzov. Moscow : Nauka, 1992.

7. Rozhkova G. I., Vasil'eva N. N. Komp'yuternyi metod otsenki fuzionnykh rezervov s ob'ektivnym kontrolem narusheniya fuzii // Fiziologiya cheloveka. 2010. No 3. P. 135–137.

8. Rozhkova G. I., Vasil'eva N. N., Belokopytov A. V. Individual'nye osobennosti formirovaniya virtual'nykh stereoob'ektov, vyyavlyaemye pri razlichnykh usloviyakh izmereniya fuzionnykh rezervov // Zapis' i vosproizvedenie ob'emnykh izobrazhenii v kinematografe, nauke, obrazovanii, media i v drugikh oblastiakh: XVII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moscow, 7–11 April 2025: Materialy i doklady / pod obshchei redaktsiei O. N. Raeva. Moscow : IPP "KUNA", 2025. P. 37–52.

9. Howard I. P. Perceiving in Depth: Volume 3 Other Mechanisms of Depth Perception. Oxford University Press. 2012. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780199764167.001.0001.

10. Tyler C. W. Binocular Vision / Duane's Foundations of Clinical Ophthalmology. Vol. 2. Tasman W., Jaeger E. A. (Eds.), J. B. Lippincott Co.: Philadelphia, 2004.

11. World Medical Association. declaration of Helsinki ethical principles for medical research involving human subjects. JAMA. 2013. Vol. 310(20). P. 2191–2194. DOI: 10.1001/jama.2013.281053 (data obrashcheniya: 25.04.2025).

УДК 778.534.1 (038)

ББК 37.95

3-32

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор *Тихомирова Г. В.*

доктор технических наук, профессор *Башарин С. А.*

3-32      Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе, науке, образовании, медиа и в других областях: XVII Международная научно-практическая конференция, Москва, 7–11 апреля 2025 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О. Н. Раева. — Москва : ИПП «КУНА», 2025. — 400 с.

ISBN 978-5-98547-154-0

В сборник вошли статьи, подготовленные по зачитанным и обсуждённым докладам и выступлениям на XVII Международной научно-практической конференции «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе, науке, образовании, медиа и в других областях», состоявшейся 7–11 апреля 2025 г. в г. Москве, а также материалы VI Международного фестиваля молодёжных экспериментальных фильмов.

Для кинематографистов всех специальностей, студентов вузов, аспирантов, инженеров и других специалистов, в сферу интересов которых входят аудиовизуальные технологии, формирующие, преобразующие и воспроизводящие объёмные изображения.

УДК 778.534.1 (038)

ББК 37.95

**ISBN 978-5-98547-154-0**

© Коллектив авторов, 2025