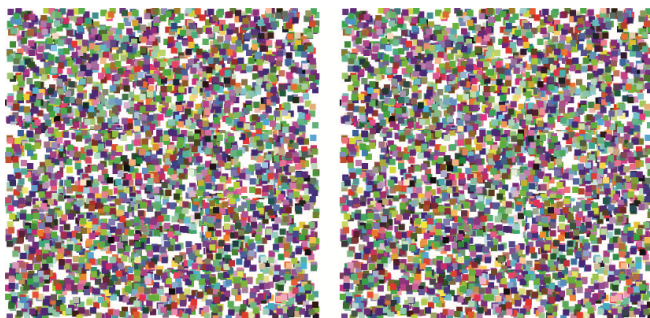


Федеральное государственное учреждение науки
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича
Российской академии наук

**СОВРЕМЕННЫЕ СТЕРЕОТЕХНОЛОГИИ
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ
В ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ
БИНОКУЛЯРНОГО ЗРЕНИЯ**

Методическое пособие



Москва 2016

Федеральное государственное учреждение науки
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича
Российской академии наук

Составители:
Г.И. Рожкова, М.А. Грачева, А.С. Большаков,
А.В. Белокопытов, Е.Н. Крутцова

**СОВРЕМЕННЫЕ СТЕРЕОТЕХНОЛОГИИ
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ
В ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ
БИНОКУЛЯРНОГО ЗРЕНИЯ**

Методическое пособие

Москва 2016

УДК 612.843.721 + 778.534.1
С 568

Современные стереотехнологии и их применение в функциональной коррекции бинокулярного зрения: методическое пособие / Г.И.Рожкова [и др.] — М.: ИППИ РАН, 2016. — 38 с. — ISBN 978-5-901158-29-6

Последние десятилетия характеризуются огромными достижениями в развитии стереотехнологий и их внедрении в различные сферы жизни и профессиональной деятельности человека. Большая часть стереотехнологий предполагает необходимость сепарации левого и правого каналов зрения, т.е. раздельного предъявления несколько различающихся изображений левому и правому глазу. Этот приём, который офтальмологи называют разобщением полей зрения двух глаз, давно используется как один из базовых в диагностике и функциональном лечении расстройств бинокулярного зрения. Использование современных стереотехнологий открывает новые перспективы диагностики и восстановления нарушенных бинокулярных функций, поскольку позволяет не только упростить и сделать более комфортными традиционные процедуры, но и предложить новые методики, которые было невозможно реализовать на прежнем технологическом уровне. Однако различные стереотехнологии имеют свои особенности, и для успешного внедрения в практику необходимо иметь достаточно чёткое представление об их принципах и возможностях, достоинствах и недостатках.

Данное методическое пособие имеет целью описание и сравнительный анализ современных массовых 3D технологий с позиции возможности их использования для функциональной коррекции нарушенного бинокулярного зрения и развития механизмов стереоскопического восприятия

ISBN 978-5-901158-29-6

© ИППИ РАН, 2016

© Г.И. Рожкова, М.А. Грачева,
А.С. Большаков, А.В. Белокопытов,
Е.Н. Крутцова, 2016

Содержание

1. Общее представление о стереотехнологиях	4
2. Краткая история развития стереоскопических технологий	8
3. Современные варианты реализации различных методов создания стереоизображений	14
3.1 Цветовые технологии	14
3.2. Временные, или затворные, технологии	19
3.3. Поляризационные технологии	20
3.4. Автостереоскопические безочковые технологии.....	24
3.5 Шлемы виртуальной реальности	26
4. Достоинства и недостатки разных стереотехнологий и особенности их использования в функциональном лечении.....	27
Заключение	35
Использованные источники информации	36

1. Общее представление о стереотехнологиях

Что такое стереотехнологии и/или 3D технологии? Это специальные способы формирования и показа изображений, позволяющие достаточно правдоподобно передавать объемность (трехмерность) предметов и протяженность сцен, создавая эффект присутствия наблюдателя в изображаемой области пространства.

В настоящее время стереотехнологии относятся к числу наиболее активно развиваемых и востребованных. Они используются в научных исследованиях, в промышленном проектировании и строительстве, в различных отраслях медицины, в учебном процессе, в оборонной сфере, спорте, искусстве, рекламе и т.д.

Есть несколько видов стереотехнологий, различающихся по теоретическому принципу, трудоёмкости реализации и достигаемым эффектам. Каждая из них имеет свои достоинства и недостатки. По всей видимости, наиболее безупречной в отношении восприятия является лазерная технология формирования виртуальных трехмерных фигур и сцен с использованием интерференции когерентных излучений – голография. Эта технология позволяет видеть изображаемые объекты в трёх измерениях без специальных индивидуальных приспособлений – например, стереочков, – и допускает рассматривание стереоизображений с разных сторон, монокулярно и бинокулярно, в условиях поворотов головы и перемещений тела. Однако эта технология требует сравнительно больших мощностей и еще не отработана до уровня массового использования, особенно в динамических режимах.

Менее совершенными, но обеспечивающими формирование впечатляющих пространственных образов, являются бинокулярные стереотехнологии, основанные на способности человека определять объёмную форму и удалённость объектов, сопоставляя сигналы, поступающие в мозг от одной и той же сцены через два глаза – с двух разных точек зрения. По двум

несколько различающимся двумерным (2D) изображениям, сформированным на сетчатках левого и правого глаз, мозг способен построить трехмерную (3D) картину окружающей обстановки в пределах её видимости при данной позиции наблюдателя.

Наглядное представление об этом процессе даёт наблюдение парных изображений (стереопар) при помощи стереоскопа – прибора, позволяющего каждому глазу видеть «свое» изображение, полученное в результате съёмки сцены с соответствующей позиции. В связи с тем, что именно стереоскоп был тем устройством, с которого начиналось развитие 3D техники, стереотехнологии, основанные на использовании изображений одной и той же сцены в разных ракурсах, называют также стереоскопическими технологиями. Термин **3D технологии** не совсем корректен, но стал общепотребительным в связи с широким его использованием в кинематографии. На самом деле, многие специалисты, не без оснований, понимают под 3D технологиями также иные способы отображения объёмности, не имеющие отношения к стереоскопии. К примеру, программа 3D MAX обеспечивает формирование на обычных экранах правдоподобных изображений трёхмерных объектов и пространственных сцен в любых ракурсах, но в каждый момент – в одном ракурсе. В динамике, при плавных изменениях ракурса видеоряд создаёт у зрителя наглядное представление об объёмности объектов и их пространственных взаимоотношениях, но это происходит за счёт монокулярных механизмов пространственного восприятия, а механизмы бинокулярного пространственного зрения в этих условиях не только не способствуют восприятию объёмности, но даже могут подавлять его. Причина в том, что каждый монокулярный видеоряд хорошо соответствует условиям наблюдения поворачивающегося объёмного объекта или оглядывания с разных сторон пространственной сцены, но бинокулярные механизмы должны при этом отличать плоское изображение на экране от реальной объёмной сцены. Если в

каждый момент левый и правый глаз получают идентичные изображения, то в естественных условиях это возможно только в случае плоских объектов или при бесконечно большом расстоянии наблюдения (что не согласуется с близким расположением экрана монитора).

Чтобы добиться стереоскопического эффекта, рассматривая картины, предъявляемые на плоском экране, необходимо создать такие условия наблюдения, при которых фактически на плоскости присутствовала бы *стереопара* – два несколько различающихся изображения, соответствующие углам наблюдения левого и правого глаза, а каждый глаз выделял бы из стереопары только предназначенное ему изображение. Другими словами, необходимо смоделировать на сетчатках ситуацию естественного наблюдения трехмерной сцены, обеспечив возможность поступления в левый глаз только изображения, соответствующего левому ракурсу, а в правый – правому, несмотря на то, что на экране эти изображения совмещены. Очевидно, что это требует специальных методов создания единого суммарного изображения и его разделения на левую и правую проекции, которые рассматриваются далее. В стереотехнике вторую операцию называют *сепарацией* левого и правого изображений.

Различные методы создания и наблюдения стереоизображений развивались на протяжении нескольких столетий. Их можно подразделить на очковые и безочковые. Первые характеризуется тем, что для восприятия стереоизображения нужно использовать разделительные очки (в частности, вмонтированные в стереоскоп либо шлем). Вторые позволяют обходиться без индивидуальных оптических приспособлений за счёт сложной обработки исходных изображений и многоэлементных фильтров, создающих в пространстве наблюдения зоны, где на сетчатки левого и правого глаз избирательно проецируются левое и правое изображения соответственно.

В настоящее время применяются, в основном, следующие методы сепарации:

- **цветовая (анаглифная) заплоскопия** – использование для создания левого и правого изображений двух разных цветов, близких к дополнительным (обычно – красного и синезеленого), и рассматривание их через очки с цветными фильтрами, избирательно пропускающими левое изображение в левый глаз, а правое – в правый;

- **цветовая спектрозональная технология** – использование дополняющих друг друга спектрозональных (гребенчатых) светофильтров при проецировании левого и правого изображений на один экран и аналогичных фильтров в стереочках для зрителей;

- **поляризационная технология с линейной поляризацией света** – создание левого и правого изображений с взаимно ортогональными направлениями поляризации света и их фильтрация при помощи соответствующих пассивных поляризационных стереочков;

- **поляризационная технология с круговой поляризацией света** – создание левого и правого изображений с вращением вектора поляризации в противоположных направлениях (по часовой стрелке и против) и их фильтрация при помощи соответствующих пассивных поляризационных стереочков;

- **затворная (синонимы: временная, обскурационная, эклипсная) технология**, заключающаяся в чередовании (быстрой смене) на экране левого и правого изображений и использовании синхронно работающих затворных стереочков с регулируемой прозрачностью, которые обеспечивают пропускание левого изображения в левый глаз, а правого – в правый при одновременной окклюзии второго глаза;

- **автостереоскопическая безочковая растровая линзовая технология**, осуществляемая экранами с цилиндрическими линзами, предназначенными для адресации чередующихся на экране фрагментов левого и правого изображений соответствующему глазу;

- *автостереоскопическая безочковая растровая параллакс-барьерная технология*, осуществляемая экранами с искусственно формируемыми непрозрачными элементами, образующими растр (решетку) для адресации чередующихся на экране фрагментов левого и правого изображений соответствующему глазу.

- *механическое разделение полей зрения двух глаз при помощи шлема виртуальной реальности*, реализующее предъявление каждому глазу своего изображения на отдельном дисплее или части дисплея.

Следует подчеркнуть, что на пути реализации каждого из методов необходимо решать проблемы, относящиеся в равной степени к физической оптике и к физиологии человеческого зрения. В частности, возможности использования цветового и временного принципов сепарации ограничиваются параметрами мониторов (спектральными характеристиками излучателей и быстродействием системы), с одной стороны, и особенностями цветовосприятия и инерционности человеческого глаза, с другой стороны.

Данное методическое пособие имеет целью описание и сравнительный анализ современных массовых 3D технологий формирования стереоизображений с позиции возможности их использования для функциональной коррекции нарушенного бинокулярного зрения и развития механизмов стереоскопического восприятия.

2. Краткая история развития стереоскопических технологий

Очевидно, что развитию стереоскопических технологий должно было предшествовать получение знаний о бинокулярном пространственном восприятии. Определенные представления о стереоскопическом механизме пространственного зрения имелись у учёных ещё до нашей эры. К примеру, уже Евклид (III в до н. э.) связывал восприятие объёмности с тем, что каждый глаз видит немного отличающиеся картинки одного и того же объекта. Но мы не

будем касаться столь давних времен, о которых остались лишь отрывочные сведения, и остановимся на достижениях последних пятисот лет, имеющих явную связь с современными стереоскопическими технологиями.

В конце XVI века вопросами стереоскопического зрения занимался Леонардо да Винчи, посвятивший особенностям зрительного восприятия несколько своих сочинений. В математической же форме теория стереоскопического восприятия была впервые изложена немецким оптиком и геометром Иоганном Кеплером в первой четверти XVII века.

Первое реальное стереоизображение было создано в 1692 году, более трёхсот лет назад (рис.1). Его автором был французский живописец Буа-Клэр (Bois-Clair), который изобрёл *растровый метод* создания стереоизображений.



Рис. 1. Работа французского художника Буа-Клэра

Пространственного эффекта он достигал, чередуя на полотне вертикальные полосы изображений, соответствующих левому и правому ракурсу, и используя специальную решетку из вертикальных пластин, закрепленных под прямым углом к поверхности полотна. Рассматривая картину правым глазом, зритель видел только правое изображение, а глядя левым глазом – только левое. Когда же зритель смотрел двумя глазами, у него возникал

объёмный образ (подробнее принцип действия решетчатого растра поясняется далее в разделе 3.4).

Работы Буа-Клэра экспонируются сейчас в замке Розенборг в Копенгагене. Однако среди современников идеи художника не нашли последователей, и его метод был забыт на долгое время. Лишь спустя 200 лет, француз Бертье (Berthier) описал общий принцип создания картин, подобных картинам художника Буа-Клэра, применительно к фотографии, а запатентован данный метод был ещё позже Фредериком Ивсом (Ives).

Значительный вклад в развитие растровых стереотехнологий применительно к области стереофотографии внес Габриэль Липпман (Lippmann), профессор парижского университета, лауреат нобелевской премии по физике 1908 года за работы в области цветной фотографии. Ему принадлежит идея получения объемной фотографии при помощи пластины, состоящей из набора мелких линз.

Воплотить свою идею в жизнь Липпману не удалось, но его работу продолжил французский изобретатель, фотограф-любитель, Морис Бонне (Bonnet). Он предложил технологию создания растровых стереоизображений, которая используется до настоящего времени. Технология заключается в том, что изображения, снятые с разных точек зрения, препарируются, komponуются и накрываются пластиной из цилиндрических линз (лентикулярным растром). Препарирование изображений состоит в их нарезке на узкие полосы и чередовании с периодом, равным ширине одной цилиндрической линзы. Морисом Бонне был также сконструирован специальный фотоаппарат для стереосъемки, в котором автоматически создавалось готовое полосовое изображение. Фотоаппараты подобной конструкции используются и сейчас.

На основе изобретения Мориса Бонне, получившего широкое распространение по всему миру, с 80-х гг прошлого века в разных странах выпускается разнообразная сувенирная и рекламная стереопродукция: открытки, календари, плакаты, коврики для мышей и многое другое.

Научные исследования в области растровой стереоскопии успешно ведутся в Москве, в НИКФИ (Научно-

исследовательском кинофотоинституте) с начала XX в. Особенно плодотворной была работа лаборатории Семена Павловича Иванова, о которой было известно Морису Бонне. В середине XX в эта лаборатория занимала лидирующую позицию в своей области. В 1941 году в Москве был открыт стереокинозал с проволочным растровым экраном, где зрители могли смотреть стереофильмы без очков и каких-либо дополнительных приспособлений.

Переходя к другим стереотехнологиям, отметим, что на протяжении XIX в было изобретено много индивидуальных устройств для наблюдения стереоизображений – различных *стереоскопов*, в которых левое и правое изображения помещаются в два механически разделенных оптических канала. Наиболее известен зеркальный стереоскоп Чарльза Уитстона (Wheatstone), считающегося изобретателем этого прибора, а линзовый стереоскоп Дэвида Брюстера (Brewster), является прототипом многих современных моделей.

В 1841 г немецким физиологом Генрихом Дове (Dove) был изобретён *цветовой* метод стереоскопии, часто называемый также *анаглифным*. В одном из кадров стереопары Дове делал изображение синим на белом фоне, а во втором – красным на белом фоне. Когда оба изображения рассматривались в стереоскопе через синий и красный светофильтры, наблюдатель видел тёмный объёмный объект на светлом фоне. Несколько позже аналогичные методы были разработаны Вильгельмом Роллманом (Rollmann) и Жозефом д'Альмейда (D'Almeida). В обзоре Гроссера (Grosser) утверждается, что термин «анаглиф» (от греч. *anályphos* — рельефный) ввёл в 1891 году француз Луи Артур Дюко дю Орон (de Naupon), запатентовавший метод наложения красного и зеленого изображений стереопары на одну плёнку. В настоящее время этот термин употребляется для любых наложенных цветных изображений, составляющих стереопару — как печатных, так и проецируемых на экран.

Дальнейшее развитие стереоскопических технологий неразрывно связано с развитием кинематографа.

Примечательно, что стереокино появилось вскоре после создания кинематографа, днем рождения которого принято считать 28 декабря 1895 года. Известно, что первое устройство для стереокиносъемки было создано в 1900 году, а первая публичная демонстрация стереофильма в России, по-видимому, состоялась в Петербурге в 1911 году.

Развитие анаглифного способа сепарации изображений привело к созданию технологии Dolby 3D, разработанной немецкой компанией Infitec. Эта технология предполагает использование более сложных гребенчатых светофильтров с зональными спектрами пропускания, в сумме дающими свет, близкий к белому в каждом зрительном канале.

В конце 1922 года Лоуренс Хаммонд (Hammond) и Уильям Кэссиди (Cassidy) представили публике свою систему Teleview – самый ранний вариант «затворного» метода, основанного на временной сепарации левого и правого изображений. Суть метода заключалась в том, что зритель смотрел на экран через приспособление с двумя окулярами и шторками. На экране кадры для левого и правого глаз быстро меняли друг друга, а шторки попеременно закрывали то левый, то правый окуляр. Таким способом создавались условия, в которых правый глаз видел кадры, снятые только правой камерой, а левый – левой, и благодаря инерции человеческого зрения создавалась иллюзия восприятия объёмной сцены.

В 1952 году в США состоялась премьера первого цветного стереоскопического фильма («Bwana Devil»), снятого по **поляризационной** технологии, разработанной Эдвином Лэндом, который создал в 1932 году компанию по производству поляризационных плёнок, впоследствии получившую название Polaroid. На поляризационной технологии в настоящее время базируются такие трехмерные технологии показа как **IMAX 3D** (англ. Image Maximum — максимальное изображение), в котором стереоизображения получаются при помощи линейно поляризованного света, а также **RealD**, где используется круговая поляризация света.

В последние годы среди наиболее популярных технологий создания стереоизображения фигурируют **Dolby 3D**, **XpanD**, **Volfonti**, **MasterImage**, **RealD**, которые представляют собой усовершенствованные модификации анаглифной, затворной и поляризационной технологий.

Параллельно с технологиями демонстрации 3D на экране развивались и технологии индивидуального погружения в виртуальную реальность. Широкую известность получила представленная публике в 1950 году система «Сенсорам», разработанная Мортонем Хэйлигом (Heilig): система обеспечивала воздействие на зрение, слух и обоняние пользователя, к тому же в определенные моменты просмотра фильма специальные вентиляторы создавали ощущение ветра, а кресло начинало вибрировать.

Первое носимое на голове устройство виртуальной реальности было разработано в 1961 году: система предъявляла пользователю изображения с камер, которые поворачивались согласованно с движениями головы. В первую очередь эта технология была, конечно, предназначена для использования в военной области.

Уже в 1968 году было изобретено другое устройство подобного типа, однако шлем был слишком тяжелым и крепился к потолку, чтобы снять часть нагрузки с пользователя. Устройство опускалось на голову с потолка, за что получило свое красноречивое название «Дамоклов меч».

В начале 1990-х годов наблюдался очередной всплеск популярности устройств виртуальной реальности, однако несколько неудачных выпусков продукции – недоработанный шлем от Sega в 1993 году, снятая с производства консоль Jaguar от фирмы Atari, провалившийся на этапе продаж шлем Virtual Boy от Nintendo – снизили интерес производителей к таким разработкам.

В XXI веке начинается новая волна интереса к шлемам виртуальной реальности, и на рынке сейчас представлено

множество различных устройств разной ценовой категории и конфигурации.

3. Современные варианты реализации различных методов создания стереоизображений

3.1 Цветовые технологии

Для создания стереоизображения цветовым (анаглифным) методом в любом случае необходимы:

- стереопара, в которой спектры изображений, предназначенных для левого и правого глаз, содержат разные (в идеале – не перекрывающиеся) полосы воспринимаемого человеком диапазона световых волн;
- очки, в оправу которых вставлены соответствующие спектральные фильтры, обеспечивающие сепарацию изображений стереопары, т.е. поступление в левый глаз только левого изображения, а в правый – правого.

Наиболее простая и давно используемая реализация анаглифных методов заключается в создании стереопар из красных и синих (сине-зелёных, зелёных) изображений и в дополнение к ним – соответствующих очков с красными и синими (сине-зелёными, зелёными) светофильтрами. Пример современных красно-синих очков и спектров пропускания очковых фильтров приведен на рис. 2.

При этом необходимо учитывать важную особенность данной реализации, состоящую в том, что вид и расположение объектов по глубине в изображаемой сцене оказываются существенно зависящими от фона, на котором предъявляются цветные стимулы. Различают два крайних варианта предъявления – аддитивный (на темном фоне) и субтрактивный (на светлом фоне).

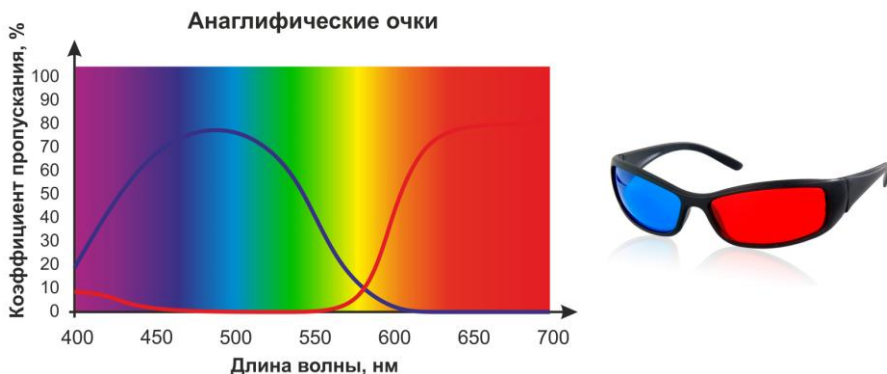


Рис. 2. Очки с цветными светофильтрами и спектры пропускания этих фильтров

Аддитивный вариант

Суть аддитивного варианта поясняет рис.3, где красный квадрат является объектом для левого глаза, синий круг – для правого, а белый треугольник должен восприниматься обоими глазами, причём все объекты предъявляются на тёмном фоне.

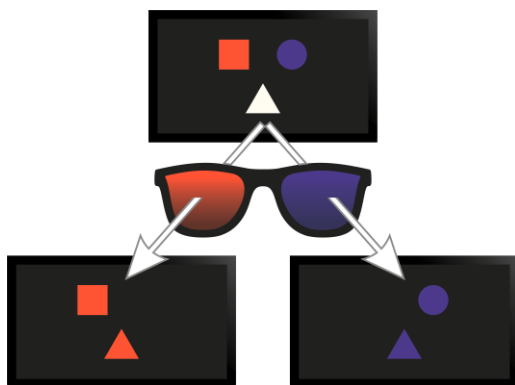


Рис. 3. Вид экрана и изображений через фильтры для наблюдателя при аддитивном цветовом варианте сепарации

Зритель, наблюдая экран через красно-синие очки, каждым глазом увидит только те изображения, которые предназначались именно ему, так как красный фильтр пропустит только красные излучения, а синий – только синие.

Треугольник будет виден обоим глазам, поскольку белый свет содержит и красные, и зелёные излучения, но отдельно каждому глазу он будет виден окрашенным в цвет очкового фильтра, а в

красные, и зелёные излучения, но отдельно каждому глазу он будет виден окрашенным в цвет очкового фильтра, а в

бинокулярном образе его цвет будет зависеть от особенностей восприятия конкретного человека. В случае успешной суммации цвет треугольника может быть близким к смешанному, в случае сильного доминирования одного из глаз – к красному или синему, а в промежуточных случаях цвет будет нестабильным.

Субтрактивный вариант

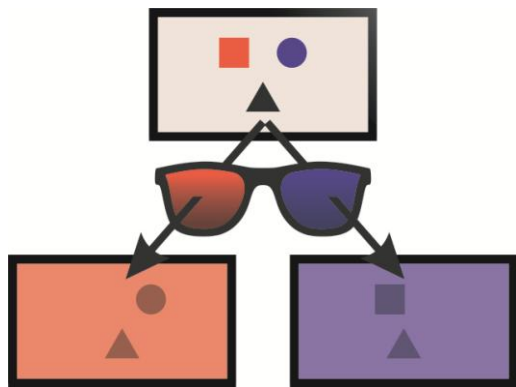


Рис. 4. Вид экрана и изображений через фильтры для наблюдателя при субтрактивном цветовом варианте сепарации

Если те же объекты красного и синего цвета – красный квадрат и синий круг – предъявляются на светлом (белом) фоне, то при восприятии через красный фильтр будут видны только объекты, изображенные синим цветом, а через синий – изображенные красным. Это связано с тем, что от красного объекта и от белого фона через красный фильтр в глаз

пройдет одинаковое количество света, и граница между объектом и фоном не будет видна, т.е. объект сольется с фоном. Напротив, синий объект будет хорошо виден сквозь красный фильтр, причём как более тёмный, чем фон, поскольку свет от этого предмета не пройдет через красный фильтр, и в том месте, где этот предмет находится, будет ощущаться недостаток света по сравнению с фоном. Соответственно, через синий фильтр не будет виден синий круг, а красный квадрат будет виден как темный на светлом фоне. Чёрный треугольник будет виден через оба фильтра, так как в нём нет ни красного, ни синего излучений, и он в обоих случаях оказывается темнее фона. При наблюдении одним левым (правым) глазом светлый фон будет соответственно

иметь красный (синий) оттенок, а при бинокулярном наблюдении окажется практически бесцветным.

Различие между аддитивным и субтрактивным вариантами демонстрирует рис. 5, который позволяет увидеть, насколько по-разному воспринимаются одни и те же изображения в зависимости от фона: через очки левая муха будет видна дальше листа как белая, а правая муха – ближе листа как тёмно-серая.

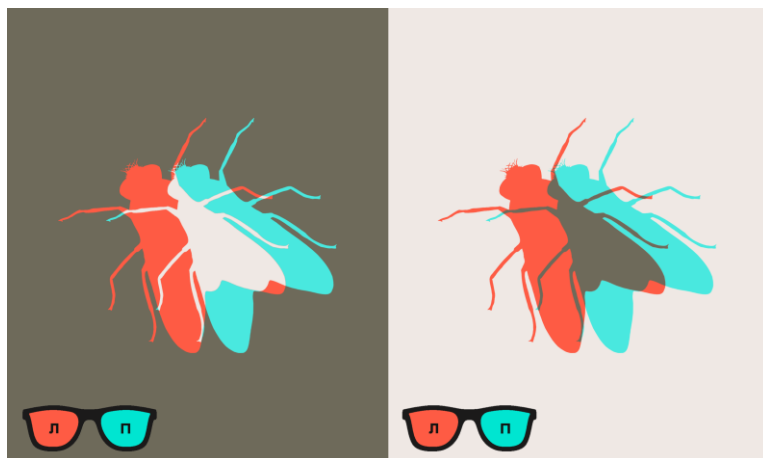


Рис. 5. Изображения, реализованные аддитивным (слева) и субтрактивным (справа) вариантами анаглифной сепарации.

Анаглифный метод воспроизведения стереоизображений проблематично использовать в случае многоцветных изображений, что ограничивает область его применимости. Однако в тех случаях, когда потребителей интересуют, в первую очередь, пространственные аспекты, а цветовые характеристики второстепенны, анаглифы еще не скоро выйдут из употребления – например, в печатной продукции, посвященной описанию сложных конфигураций органических молекул, кристаллов, технических конструкций и т.п.

Из стереоскопических технологий, основанных на цветовой спектрозональной сепарации, сейчас популярна технология **Dolby 3D**, использующая систему **Infitec** (рис. 6). Это система

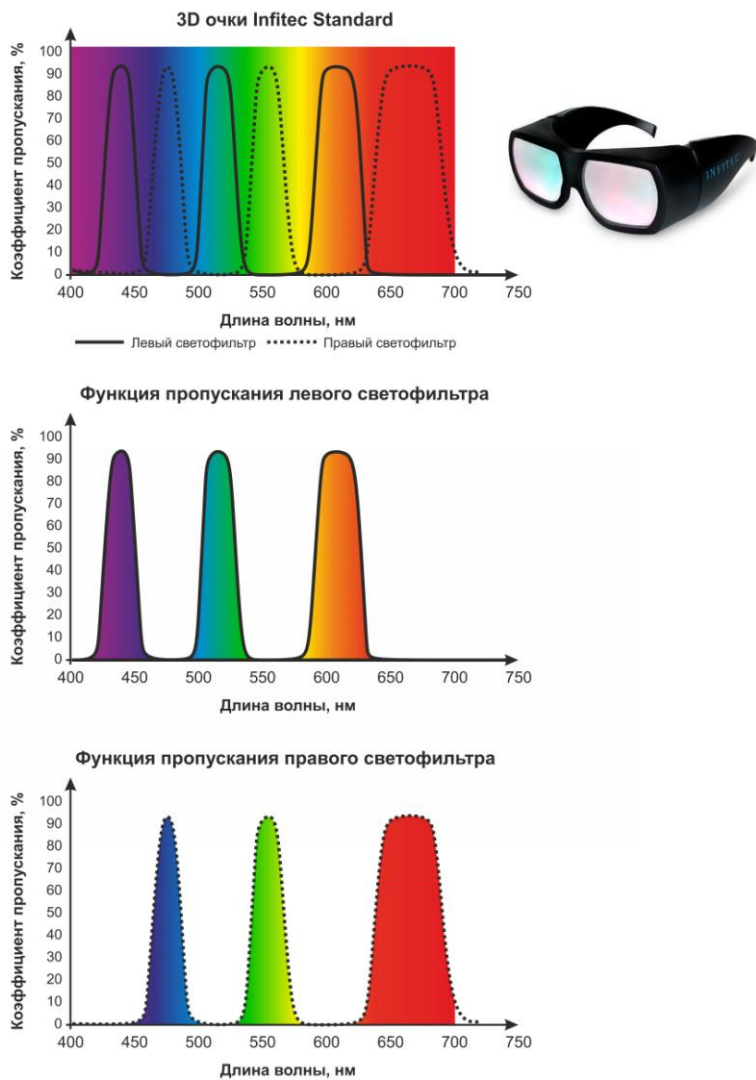


Рис.6. Спектры пропускания светофильтров системы Infitec

получения стереоскопического эффекта за счёт использования левого и правого изображений со сложными 3-х зональными гребенчатыми спектрами, которые дополняют друг друга, и соответствующих очков с согласованными светофильтрами. Система была создана немецкой компанией Infitec, которая в 2006 году объединилась с Dolby Laboratories для разработки стандарта Dolby 3D. При проецировании на экран левое и правое изображения пропускаются каждое через свой светофильтр, для чего к проектору добавляется специальный вращающийся диск с двумя необходимыми светофильтрами и синхронизирующее устройство. Светофильтры диска сменяют друг друга, обеспечивая поочередное предъявление кадров для правого и левого глаза. Зритель же смотрит фильм в очках с соответствующими спектрально-зональными фильтрами, пропускающими каждый кадр в нужный глаз. Нельзя, однако, не заметить, что фактически в Dolby 3D используется как цветовой метод сепарации, так и, отчасти, временной, принцип которого поясняется далее.

3.2. Временные, или затворные, технологии

Временной (затворный) метод формирования стереоскопического изображения основан на поочередном предъявлении кадров для левого и правого глаза с большой частотой и на синхронной окклюзии парного глаза в моменты наблюдения данным глазом. Процесс попеременной окклюзии осуществляется при помощи так называемых **активных стереоочков** со встроенными ЖК-панелями, прозрачность которых регулируется синхронно с процессом следования кадров (рис. 7).

Благодаря инерционности зрения прерывистость изображений в каждом глазу практически не ощущается. Важнейшее требование для реализации этого метода – большая частота смены кадров (не менее 120 Гц) у дисплея или проекционного устройства, а также соответственно большая частота изменения прозрачности активных очков и точная

синхронизация работы очков и проекционной аппаратуры. В первых затворных системах для управления прозрачностью очков требовалось значительное электрическое напряжение, которое подводилось к очкам по проводам. В последние годы удалось добиться значительного снижения управляющих сигналов и перейти на беспроводные системы синхронизации.

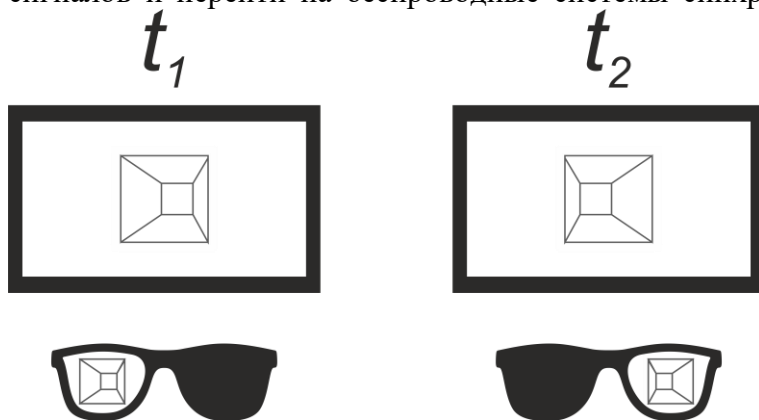


Рис. 7. Иллюстрация предъявления и наблюдения кадров для левого и правого глаза при использовании затворной технологии.
 t_1, t_2 – последовательные моменты времени.

На сегодняшний день, данный метод используется в системах nVidia 3D Vision, Xrand 3D, в телевизорах фирмы Samsung и в другой аппаратуре.

3.3. Поляризационные технологии

Сепарация на основе разной поляризации излучений, формирующих левое и правое изображения, реализуется в современных системах с использованием светофильтров, пропускающих свет с линейной или круговой (циркулярной) поляризацией определенного направления, как в системе создания изображений, так и в стереочках, надеваемых пользователем. В отличие от активных затворных очков, прозрачность которых должна меняться синхронно со сменой

изображений на экране, поляризационные очки не требуют никакой регулировки и потому называются *пассивными*. Особенности двух вариантов поляризационной технологии поясняют рисунки 8 и 9.

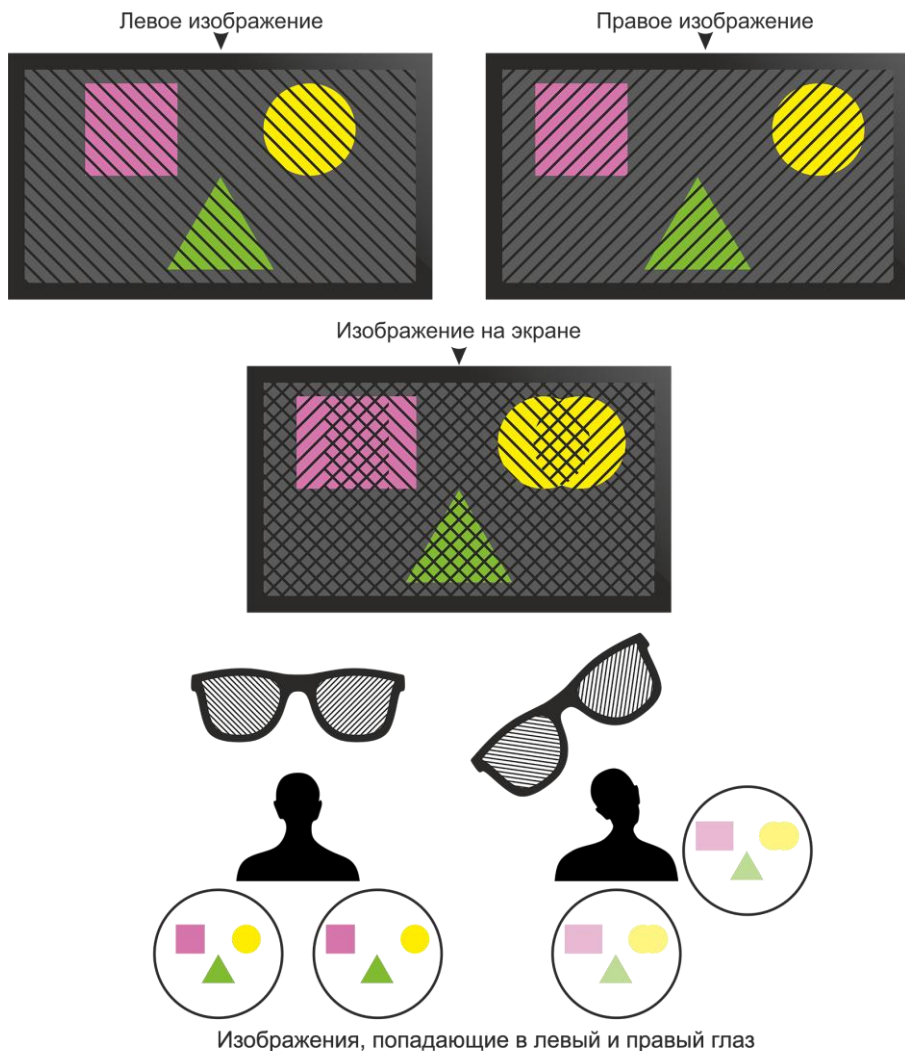


Рис. 8. Разделение левого и правого изображений на основе линейной поляризации: при наклоне головы (и очков) сепарация нарушается, так как каждый фильтр в очках начинает пропускать оба изображения

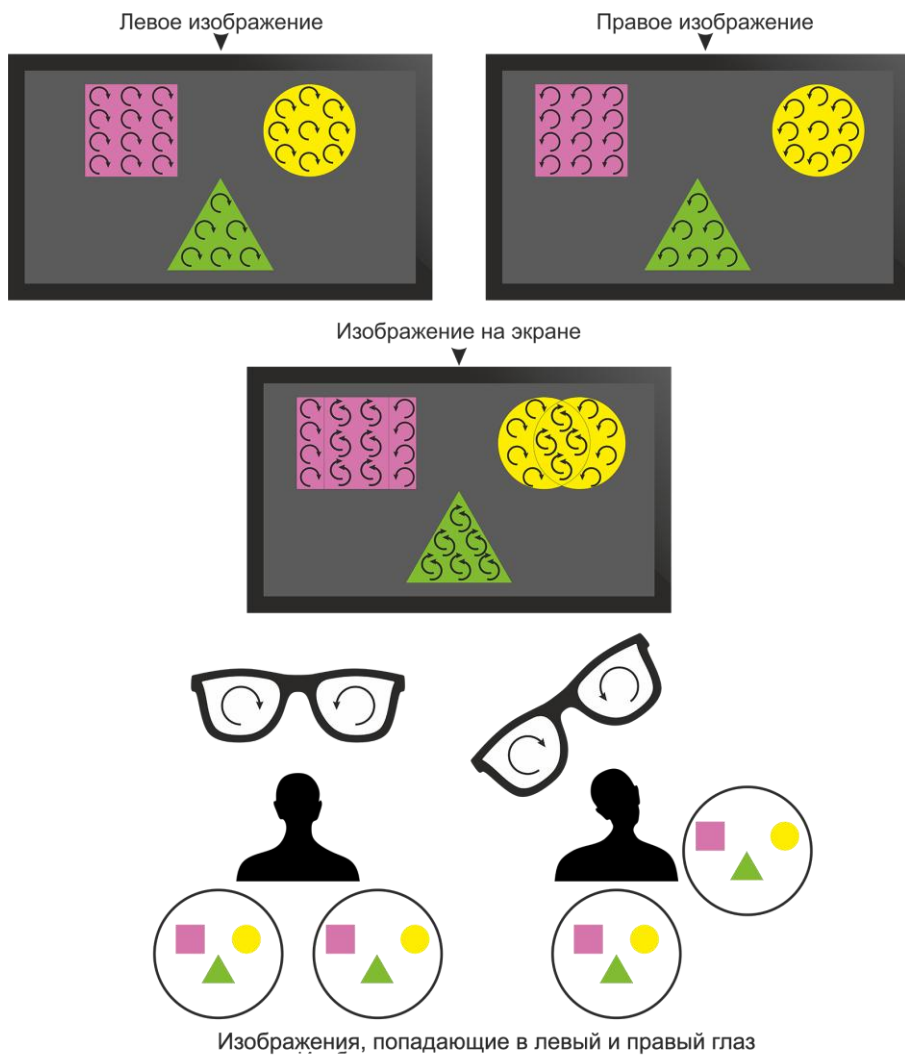


Рис. 9. Разделение левого и правого изображений на основе круговой поляризации: наклон головы (и очков) не влияет на качество сепарации, так как избирательное пропускание света каждым очковым фильтром не зависит от его ориентации

При линейной поляризации левое и правое изображения получаются при помощи пары светофильтров, выделяющих из естественного неполяризованного света волны с ортогональными друг другу направлениями векторов напряженности электрического (и магнитного) поля (рис. 8). При использовании круговой поляризации фильтры выделяют составляющие с противоположными направлениями вращения векторов – по часовой стрелке и против часовой стрелки (рис. 9). Наиболее важное преимущество круговой поляризации перед линейной – независимость качества сепарации от наклона очковых фильтров. В случае предъявления изображений на мониторе используют матрицы фильтров с построчным чередованием двух направлений поляризации. При этом левое изображение стереопары формируют на нечётных строках, а правое – на чётных (или наоборот).

В кинозалах поляризованные изображения проецируют на специальные экраны с металлизированным покрытием, не искажающим поляризацию. Наиболее известный пример применения линейной поляризации – технология стереоскопического проецирования **IMAX 3D**, в которой используют отдельные проекторы для левого и правого изображений. Последнее обстоятельство, а также существенное влияние наклона головы зрителя на качество стереовосприятия, ограничивают распространение этой технологии.

В настоящее время большую популярность получили технологии цифрового стереоскопического проецирования, не требующие двух проекторов (например, **RealD**). Эти технологии совмещают принципы временной и поляризационной сепарации: один проектор попеременно транслирует кадры для левого и правого глаза (как при временной сепарации), но эти кадры проецируются в поляризованном свете с направлением по часовой стрелке для правого глаза, и против часовой – для левого (как при чисто поляризационной сепарации). Пассивные очковые фильтры разделяют изображения с противоположными направлениями круговой поляризации и обеспечивают

поступление в каждый глаз соответствующих кадров. Правильное чередование и поляризацию левых и правых кадров осуществляет установленный перед объективом проектора управляемый сложный фильтр. Высокая частота проецирования кадров — 72 кадра в секунду для каждого глаза (т.е. 142 Гц) — обеспечивает отсутствие заметных для человека мельканий.

3.4. Автостереоскопические безочковые технологии

Для сепарации правого и левого изображений стереопары безочковым автостереоскопическим методом используют растровые оптические системы, создающие перед экраном зоны избирательного восприятия, из которых каждым глазом можно увидеть только предназначенное ему изображение. Принцип автостереоскопии легче всего пояснить на примере щелевого растра (рис. 10).

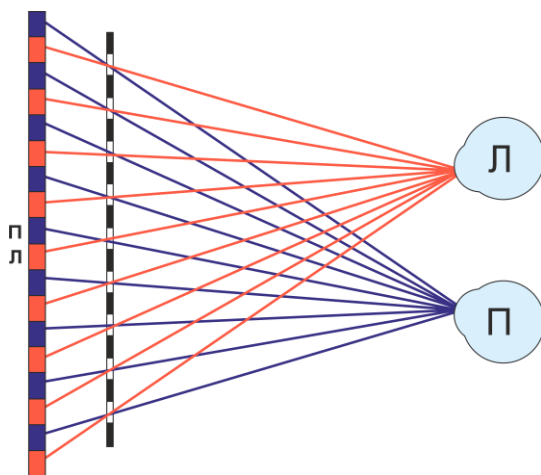


Рис.10. Принцип работы щелевого растра: на экране чередуются полосы левого и правого изображений, которые видны через щели только соответствующему глазу. Растр может быть как стационарным (например, линзовым), так и управляемым (формируемым на основе параллакс-барьерной технологии).

Области, образованные лучами, проведенными от левого (правого) глаза через щели до плоскости стереограммы, указывают зоны, где должны помещаться фрагменты левого (правого) изображения для их избирательного наблюдения и восприятия стереопары. Очевидно, что левое и правое изображения должны быть нарезаны на узкие полоски и под каждой щелью размещены в обратном порядке по отношению к позиции глаз. Подготовленное таким образом суммарное изображение называют *параллаксграммой*.

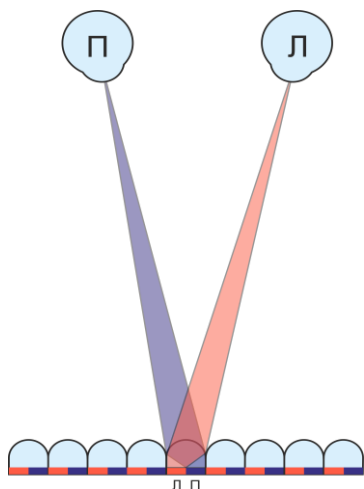


Рис. 11. Принцип работы лентикулярного линзового растра

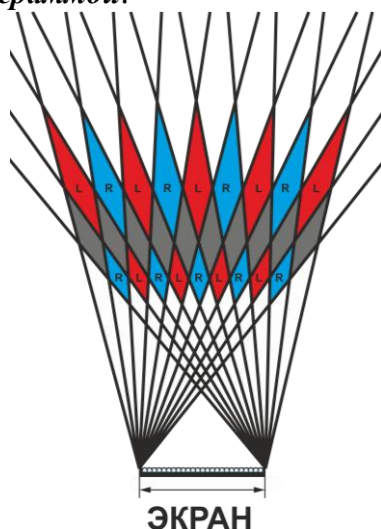


Рис. 12. Зоны наличия и отсутствия сепарации в случае двухракурсного варианта автостереоскопии

Разумеется, в настоящее время «нарезку» полос и формирование параллаксграммы производят не буквально, а алгоритмически, да и щелевые экраны создают на параллаксбарьерных мониторах из элементов с управляемой прозрачностью, регулируя их параметры в соответствии с позицией наблюдателя и его межзрачковым расстоянием.

Совершенно аналогично действует и лентикулярный растр с цилиндрическими линзами вместо щелей растра (рис. 11).

На линзово-растровом стереозэкране можно разместить не одну пару ракурсов (стереопару), а существенно большее их число.

Наиболее существенным преимуществом многоракурсных стереоизображений перед одностереопарными является то, что они создают более комфортные условия для наблюдения объёмного изображения, сохраняя неизменность пространственных соотношений в картине при перемещениях наблюдателя относительно экрана, тогда как при наблюдении одностереопарного (двухракурсного) стереоизображения глубина и форма наблюдаемой картины меняются в зависимости от дистанции и местоположения наблюдателя. На рис. 12 приведена схема, иллюстрирующая этот недостаток двухракурсного варианта: цветными ромбами выделены некоторые зоны расположения левого (L) и правого (R) глаза, где сепарация хорошая и восприятие стереоизображения возможно, а серыми ромбами показаны зоны, где сепарация отсутствует, и бесполезно пытаться увидеть закодированный в параллаксограмме стереообъект.

3.5 Шлемы виртуальной реальности

Базовая конструкция шлемов виртуальной реальности напоминает обычный стереоскоп: расположенные относительно близко к лицу пользователя изображения стереопары (отдельное изображение для каждого глаза) и фокусирующие линзы. В отличие от обычных стереоскопов со статической картинкой, шлемы виртуальной реальности учитывают движения головы, согласованно перестраивая изображение. Большинство современных устройств перерисовывают изображение достаточно быстро, чтобы пользователь не замечал этого и ощущал себя погруженным в осматриваемую сцену.

Существуют различные типы конфигурации устройств, и стоимость их тоже сильно варьирует. Часть шлемов виртуальной реальности рассчитаны на использование в связке с современными смартфонами: как в качестве экрана, так и для

получения информации от некоторых датчиков, например, гироскопов (Samsung gear VR, Fibrum, Google cardboard и др.). Другие устройства имеют собственные встроенные экраны и датчики (Oculus Rift, HTC Vive и др.).

Несмотря на довольно высокий уровень качества устройств виртуальной реальности, у них есть и ряд проблем: зернистость изображения из-за недостаточно малого размера пикселей, мелькание изображений движущихся объектов и другие артефакты предъявления, которые, вероятно, будут постепенно устраняться. Однако пока что ясно, как устранять основной сдерживающий фактор распространения данной технологии - частые жалобы пользователей на возникновение чувства легкой тошноты, как от укачивания в машине. Данный эффект, вероятнее всего, возникает из-за несогласованности реальных движений тела пользователя и воспринимаемой им через зрительную систему информации о движении.

4. Достоинства и недостатки разных стереотехнологий и особенности их использования в функциональном лечении

В диагностике и функциональном лечении нарушенного бинокулярного зрения давно используется раздельное предъявление изображений левому и правому глазу (синоптофор, гаплоглоп, тест Ворса, тест Баголини и др.).

Использование современных стереотехнологий открывает новые перспективы диагностики и восстановления нарушенных бинокулярных функций, поскольку позволяет не только упростить и сделать более комфортными традиционные процедуры, но и реализовать новые методики, неосуществимые на прежнем технологическом уровне.

Поскольку в последние годы стереоскопические технологии стали повседневной реальностью, специалистам по бинокулярному зрению важно иметь представление об их принципиальных особенностях, возможностях их применения в разных целях и потенциальном влиянии на зрительную систему при длительном использовании. К сожалению, без личного

опыта получить нужные знания невозможно, в связи с чем сейчас ощущается острая потребность в соответствующих курсах повышения квалификации для ортоптистов.

Различные стереотехнологии имеют свои особенности, и для успешного внедрения в практику необходимо иметь достаточно чёткое представление об их принципах и возможностях, достоинствах и недостатках. Далее приводятся общие сведения, необходимые для использования современных стереотехнологий в диагностике и функциональном лечении бинокулярных расстройств, перечисляются некоторые достоинства и недостатки используемых современных методов.

Более детально познакомиться со спецификой использования каждого метода можно по многочисленным статьям, публикуемым на протяжении четверти века.

Цветовой анаглифный метод

Достоинства

- Для реализации метода можно использовать простые цветные мониторы.
- Качество сепарации почти не зависит от положения головы наблюдателя относительно экрана и от наклона головы.
- К настоящему времени имеется сравнительно много интерактивных программ разных авторов, основанных на данном методе сепарации.
- Очки с цветными фильтрами доступны и дешевы.

Недостатки

- Сильно ограничена цветовая палитра используемых изображений.
- При смене монитора необходимо проверять качество сепарации, заново подбирать цвета изображений или очковые фильтры.

- Из-за цветовых различий левого и правого изображений возможны проявления бинокулярной конкуренции, затрудняющие выработку нормального взаимодействия между двумя зрительными каналами.

Цветовой спектрозональный метод

Достоинства

- Возможность использования полноцветной палитры.

Недостатки

- Отсутствие на рынке аппаратуры для индивидуального использования.
- Дороговизна, трудности наладки проекционной киноаппаратуры.
- Сложность и дороговизна очков со спектрозональными фильтрами.

Затворный (временной) метод

Достоинства

- Возможность использования многоцветных изображений.
- Высокое качество изображений, ограничиваемое только разрешением экрана, поскольку для каждого глаза используются все пиксели, а не половина, как в ряде методов.

Недостатки

- Необходимость в большой частоте смены кадров.
- Возможные нарушения синхронизации.
- Возможное негативное влияние мельканий очковых фильтров на утомляемость

- Негативное влияние искусственных источников освещения.

Поляризационные технологии:

Достоинства

- Возможность использования многоцветных изображений
- Комфортность восприятия при длительных сеансах

Недостатки

- Сниженное вдвое разрешение по вертикали.
- Необходимость использования специальных мониторов, а в кинозалах – специальных металлизированных экранов, не искажающих поляризацию проецируемых изображений.
- Зависимость качества сепарации от вертикального угла наблюдения при работе с поляризационными мониторами или телевизорами.
- В случае систем с линейной поляризацией – зависимость качества сепарации от наклона головы.

Автостереоскопические растровые технологии

Достоинства

- Возможность наблюдать стереоизображения свободно без стереочков или иных приспособлений.
- Возможность использования полноцветных изображений.

Недостатки

- Трудности изготовления параллаксограмм.

- Ограниченность зоны успешного стереовосприятия
- Влияние наклона головы на качество стереовосприятия
- Необходимость индивидуального выбора подходящей позиции относительно экрана.

Шлемы виртуальной реальности

Достоинства

- Отсутствие перекрестных помех, качественное разделение левого и правого изображения вне зависимости от положения головы (врачу не требуется контролировать качество сепарации).
- Полноцветная палитра изображений.

Недостатки

- Вероятность возникновения эффекта укачивания.
- Возможные трудности ношения шлемов детьми из-за веса шлема, межлинзового расстояния устройства и других особенностей конфигурации (зависит от конкретного устройства).
- Некоторые шлемы не удобны при ношении поверх собственной корректирующей оптики. Большинство шлемов имеет грубую настройку под аметропии пользователя, однако не всегда способны полностью их скомпенсировать.

Некоторые конкретные вопросы использования различных стереотехнологий в функциональном лечении бинокулярных расстройств обсуждаются в обзорной статье (Рожкова и др., 2015).

Краткая информация по рассмотренным стереотехнологиям, необходимая для начинающих пользователей, приведена в таблице

	Требуется покупка специального монитора или устройства	Зависимость качества от поворота, высоты, движений головы	Цена контента	Доступность контента	Богатая цветовая палитра	Наличие на рынке устройств для индивидуального домашнего использования	Разрешение экрана	Необходимость в стереочках	Вероятность возникновения дискомфорта
Цветовая технология	Анаглифная	Нет	Нет	Да	Нет	Да	Полное	Да	Биноккулярная конкуренция
	Спектрональная	Да	Нет		Да	Нет	Полное	Да	Минимальный
Затворная	Затворная	Нет*	Зависит от технологии		Да	Да	Полное	Да	Мелькания могут вызывать
	Линейная	Да	Да, от поворота		Да	Нет	Полное	Да	Минимальный
Поляризационная технология	Поляризационная	Да	Да, от высоты		Да	Да	На мониторах снижено в два раза по вертикали	Да	Минимальный
	Круговая	Да	Да		Да	Да	Снижено по горизонтали	Нет	Минимальный
Автостереоскопическая	Автостереоскопическая	Да	Да		Да	Да	Из-за малого размера экрана заметная зернистость изображения	Нет	Возможно возникновение эффекта укачивания. Трудности ношения шлема детьми из-за веса и размера устройства. Дискомфорт ношения поверх собственной коррекционной оптики.
	Шлемы виртуальной реальности	Да	Нет	Да	Да	Да			
		*Если монитор поддерживает частоту от 120 Гц							

Компьютерные стереотехнологии используются в функциональном лечении бинокулярного зрения уже около тридцати лет, однако сейчас такие методы переживают очередной всплеск популярности, особенно за рубежом. Относительно недавно были опубликованы статьи об успешном улучшении зрительных функций у взрослых амблиопов – что само по себе раньше считалось маловероятным (Li et al., 2013). При этом авторы статьи делают особый акцент на том, что тренировки с классической окклюдией, действительно, давали довольно малый эффект, в то время как тренировки с использованием 3D технологий – дихоптические тренировки – не полностью исключаящие ведущий глаз из акта зрения, но распределяющие большую зрительную нагрузку на тренируемый глаз и добавляющие бинокулярную стимуляцию – такие тренировки имели намного большую эффективность.

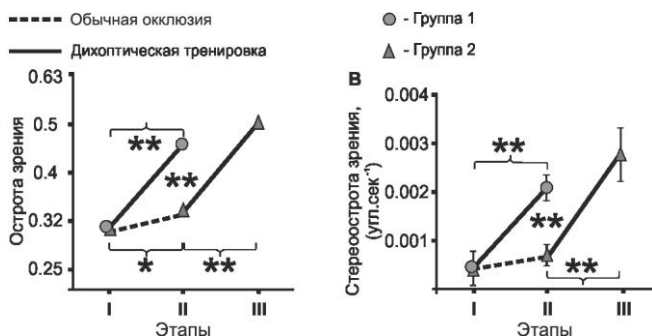


Рис. 13. Сравнение динамики улучшений зрительных функций при монокулярной (пунктирные линии) и дихоптической (сплошные линии) тренировке. Группа 1 проходила тренировку только с использованием дихоптической стимуляции, одновременно этим Группа 2 проходила тренировку с классической окклюдией (монокулярная тренировка). После курса длительностью в одну неделю Группа 2 прошла дополнительный недельный курс дихоптических тренировок. Как видно, в обеих группах дихоптическая стимуляция дала более значительные результаты, чем тренировка с классической окклюдией.

Эта статья была одной из первых зарубежных работ, наглядно показавших возможности и преимущества использования 3D в коррекции зрительных функций. В 2015 году была опубликована статья, обобщающая данные ряда аналогичных работ (Levi et al. 2015). Авторы постарались обратить особое внимание специалистов на то, что различные анамнезы требуют различного подхода, и, в частности, постарались отдельно представить данные, полученные для пациентов с дисбинокулярной амблиопией и пациентов с анизометропической амблиопией. Также авторы разделили все виды использованных тренировок на монокулярные, дихоптические и дихоптические с вовлечением стереозрения. И хотя данных для строгих выводов в данной обобщающей статье недостаточно, но полученные результаты показывают, что для пациентов с дисбинокулярной амблиопией монокулярные тренировки давали наименьший (если вообще давали) эффект, в то время как у пациентов с анизометропической амблиопией улучшение зрительных функций было значительным. Дихоптические тренировки оказались эффективными для пациентов обеих групп. Но наиболее эффективными, согласно собранным авторами данным, оказались в обеих группах стереотренировки, требующие корректного объединения информации от обоих глаз и правильного фузирования.

В отечественной практике функционального лечения бинокулярных расстройств дихоптические тренировки успешно используются еще с середины 90-х годов (Рожкова и др., 1998; Рожкова, Подугольников, 1999; Подугольников и др., 2005). В частности, этот подход был отражен даже в названии одной из первых программ – «КЛАСС», которое расшифровывалось как **Компьютерное Лечение Амблиопии Случайно-точечными Стереограммами**.

Пока что недостаточно базы, чтобы давать подробные и конкретные рекомендации по использованию различных методик функционального лечения с использованием 3D технологий, однако очевидно, что они предоставляют богатые возможности и эта область будет активно развиваться.

Заключение

Каковы самые общие выводы из проведенного анализа стереотехнологий и каковы общие рекомендации в отношении функционального лечения нарушений бинокулярного зрения?

1. Каждая из описанных технологий обладает своими достоинствами и недостатками, выбор того или другого метода определяется задачей, условиями и возможностями пользователя.
2. Наиболее комфортными и перспективными на сегодняшний день представляются поляризационные технологии, основанные на круговой поляризации света. Однако при работе с соответствующими 3D мониторами следует ограничивать возможность перемещения головы пациента относительно экрана, поскольку качество сепарации изображений зависит от угла наблюдения.
3. В большей части тестов и упражнений следует постепенно отказываться от цветовой сепарации, которая ограничивает возможности выбора изображений и может провоцировать бинокулярную конкуренцию, оказывающую негативное влияние на результаты тестирования и тренировок.
4. При использовании затворных и иных технологий, требующих использования активных очков, следует исключать влияние искусственного внешнего освещения, тщательно контролировать качество синхронизации и сокращать общее время сеансов тренировки.

Использованные источники информации

Большаков А., Грачева М. Истоки современного этапа развития технологии виртуальной реальности. Киномеханик сегодня. 2016. 5, 34–39.

Гореликова Д., Лаборатория DCP24: Обзор рынка цифровых кинотеатров России // Киномеханик сегодня. №2, март-апрель 2014, стр. 8-14.

Майоров Н.А. «Становление и развитие отечественного кинематографа» // МТК. 1(19) - 2011. 33 с.

Подугольникова Т.А., Рожкова Г.И., Кононов В.М. Использование компьютерного комплекса «Академик» для функционального лечения нарушений бинокулярного зрения // Современные проблемы детской офтальмологии. Материалы юбилейной научной конференции, посвященной 70-летию кафедры детской офтальмологии Санкт-Петербургской государственной педиатрической медицинской академии Федерального агентства по здра-воохранению и социальному развитию. СПб, 2005. С. 145-147.

Рожков С.Н., Овсянникова Н.А. Стереоскопия в кино-, фото-, видеотехнике. Терминологический словарь / М.: Парадиз, 2003. 136 с.

Рожкова Г.И. Физические и психофизиологические компоненты ухудшения стереообразов при наклоне головы // Мир техники кино. 2012. № 2 (24). С. 14-20.

Рожкова Г.И., Большаков А.С., Васильева Н.Н. Реализация компьютерных методов функциональной диагностики и развития бинокулярного зрения с использованием современных 3D-мониторов // Материалы научной конференции офтальмологов «Невские горизонты -2012». СПб: «Политехника-сервис», 2012. С. 285-289.

Рожкова Г.И., Крутцова Е.Н., Забалуева Н.П. Влияние наклона головы к плечу при просмотре фильмов 3D формата: общие закономерности и индивидуальные особенности // Мир техники кино. 2012. № 3 (25). С. 17-21

Рожкова Г.И., Подугольникова Т.А. Применение интерактивных компью-терных программ для восстановления и развития бинокулярных функций. «Актуальные проблемы

социализации инвалидов по зрению», Материалы Всероссийской юбилейной научно-практической конференции, посвящ., 70-летию кафедры тифлопедагогики. Санкт-Петербург, 1999, С. 73-78.

Рожкова Г.И., Подугольникова Т.А., Лешкевич И.А., М.А.Корнюшин, Носов В.Н., Матвеев С.Г. Компьютерное лечение косоглазия и амблиопии с применением случайно-точечных стереограмм // Вестник офтальмологии, 1998, № 4, С. 28-32.

Рожкова Г. И., Лозинский И. Т., Грачева М. А., Большаков А. С., Воробьев А. В., Сенько И. В., Белокопытов А. В. Функциональная коррекция нарушенного бинокулярного зрения: преимущества использования новых компьютерных технологий // Сенсорные системы, 2015, 29(2), 99–121.

Bando T., Iijima A., Yano S. Visual fatigue caused by stereoscopic images and the search for the requirement to prevent them: A review // Displays. 2012. 33(2). P. 76–83.

Kooi F. L., Toet A. Visual comfort of binocular and 3D displays // Displays. 2004. Vol. 25. No 2-3. P.99-108.

Tam W.J., Speranza F., Yano S., Shimono K., Ono H. Stereoscopic 3D-TV: Visual comfort // IEEE Trans. Broadcast. 2011. Vol. 57. No 2. P. 335-346.

Li J., Thompson B., Deng D., Chan L. Y. L., Yu M., Hess R. F. Dichoptic training enables the adult amblyopic brain to learn. Current Biology. 2013. 23(8), R308-9.

Levi D. M., Knill D. C., Bavelier D. Stereopsis and amblyopia: A mini-review. Vision Research. 2015. 114(January), 17–30.

<http://doi.org/10.1016/j.visres.2015.01.002>

<http://www.media-security.ru/rastr/history-lens.htm>

<http://3dteh.com.ua/history>

<http://filotaimist.ru/istoriya-rastrovyx-stereo-i-varioizobrazhenij/>

http://www.memoid.ru/node/Perspektivy_razvitiya_3D-

[tehnologij_v_Rossii](http://www.memoid.ru/node/Perspektivy_razvitiya_3D-)

<http://render3dx.com/rus/3d-stereo/history>

http://www.gazeta.ru/culture/2010/12/27/a_3479034.shtml

http://www.femto.com.ua/articles/part_2/3889.html

<http://3d-anaglyph.ru/articles/8-polyarizacionnyy-metod-prosmotra-3d.html>

Методическое пособие

Рожкова Галина Ивановна, Грачева Мария Александровна,
Большаков Андрей Сергеевич, Белокопытов Александр Викторович,
Крутцова Екатерина Николаевна

СОВРЕМЕННЫЕ СТЕРЕОТЕХНОЛОГИИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ БИНОКУЛЯРНОГО ЗРЕНИЯ

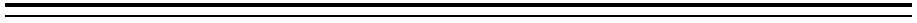
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича
Российской академии наук

127994, г. Москва, ГСП-4, Б. Каретный пер., д. 19, стр. 1.

Подписано в печать.... Формат 60х90/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Печ. лист. 5,0.
Тираж 100 экз. Заказ №

Изготовлено ЗАО «Группа МОРЕ»

ДЛЯ ЗАМЕТОК



ДЛЯ ЗАМЕТОК

