

Мир Кино

ТЕХНИКИ

АПРЕЛЬ–ИЮНЬ | 2(24)-2012 |

**РАЗРАБОТКА
ТЕСТОВЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ
КАЧЕСТВА
ЦИФРОВОГО
КИНОПОКАЗА**

**ОПТИЧЕСКИЕ
СИСТЕМЫ
ДЛЯ ОБЪЕМНОЙ ЗАПИСИ
ИНФОРМАЦИИ
ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ**

**НЕОБХОДИМОСТЬ
НОРМИРОВАНИЯ
ПАРАМЕТРОВ
СТЕРЕОПАРЫ
И СТЕРЕОПРОЕКЦИИ**

**ШИРОКОЭКРАННЫЕ
СИСТЕМЫ
КИНЕМАТОГРАФА**

**3D В ОБРАЗОВАНИИ:
ВОСТОРЖЕННЫЕ ОЖИДАНИЯ
И РЕАЛЬНЫЕ ТРЕВОГИ**

№ 24 СОДЕРЖАНИЕ



стр. 7

Новости, обзоры

О.Н. Раев
IV Международная научно-техническая конференция «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях» 2

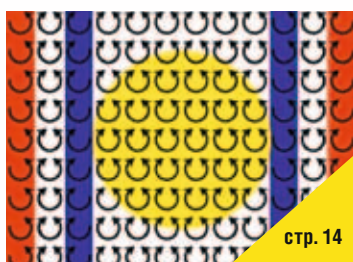
Доклады

С.Б. Бирючинский, Г.В. Тихомирова, И.Д. Барский
Оптические системы для объёмной записи информации высокой плотности 3

С.В. Кувшинов
3D в образовании: восторженные ожидания и реальные тревоги 7

Теория

С.А. Башарин, А.А. Белоусов
Построение двумерной макро модели компенсатора акустических шумов 11



стр. 14

Технологии

Г.И. Рожкова
Физические и психофизиологические компоненты ухудшения стереообразов при наклоне головы 14

В.А. Елхов, Н.В. Кондратьев, Ю.Н. Овечкис, Л.В. Паутова
Цифровой синтез многокурсных стереоскопических изображений для безочковой растровой демонстрации 21

А.С. Блохин
Разработка тестовых изображений для контроля качества цифрового кинопоказа 26



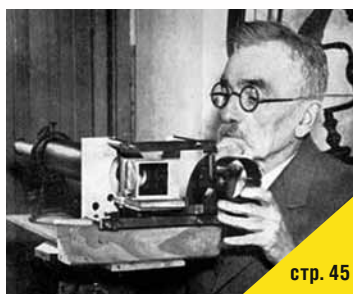
стр. 21

Стандартизация и право

В.Г. Комар, С.Н. Рожков, Д.Г. Чекалин
Необходимость нормирования параметров стереопары и стереопроекции с целью снижения зрительного дискомфорта в условиях кинозала 31

История кино

Н.А. Майоров
Широкоэкранные системы кинематографа 45



стр. 45

Требования для публикации научных статей в журнале «МИР ТЕХНИКИ КИНО»

1. Статья представляется на электронном носителе, либо по почте Kevin@paradiz.ru, объёмом не более 40 000 знаков.
2. Рисунки должны быть отдельно в JPG или TIF с разрешением не менее 300 dpi.
3. Статьи должны содержать (на русском и английском языках):
 - название;
 - аннотацию (краткую);
 - ключевые слова.
4. С авторами заключается лицензионное соглашение на публикацию.
5. Плата с аспирантов за публикацию не взимается.

Электронная версия www.elibrary.ru

Подписной индекс Роспечать: № 81923

Научно-технический журнал «Мир Техники Кино»
Выходит 4 раза в год
Издатель: ООО «ИПП «КУНА»
Учредители: ОАО «НИКФИ», ООО «ИПП «КУНА»
при поддержке Министерства культуры Российской Федерации

Руководитель проекта:
Костылев Олег Юрьевич
Главный редактор:
Индлин Юрий Александрович, к.т.н.
Выпускающий редактор:
Захарова Тамара Владимировна
Арт-директор, оформление обложки:
Шишкин Владимир Геннадьевич
Вёрстка и дизайн:
Аверина Наталья Владимировна
Корректор:
Сайкина Наталья Владимировна

Редакционный совет:
Комар В.Г., проф., д.т.н., ОАО «НИКФИ»
Белоусов А.А., проф., д.т.н., СПбГУКИТ
Тихомирова Г.В., проф., д.т.н., СПбГУКИТ
Сакварелидзе М.А., д.х.н., МКВИ
Тимофеев А.Е., к.т.н., ОАО «НИКФИ»
Перегудов А.Ф., к.т.н., СПбГУКИТ
Блохин А.С., к.т.н., ОАО «НИКФИ»
Лишин Л. Г., к.т.н., ВНИИТР
Барский И.Д., к.т.н., ОАО «Кинотехника»
Одинокос С.Б., к.т.н., МГТУ им. Н.Э. Баумана
Раев О.Н., к.т.н., МКБК
Волков А.С., Министерство культуры РФ

Отпечатано в ООО «ИПП «КУНА»
Объём 6 п.л. Заказ № 487.
Тираж 1100 экземпляров.

Свидетельство о регистрации
СМИ-ПИ № ФС77-28384 от 23 мая 2007 года.

Перепечатка материалов осуществляется только с разрешения редакции, ссылка на журнал обязательна. Редакция не несёт ответственности за достоверность сведений о рекламе и объявлениях. Мнение редакции и рецензентов не всегда совпадает с точкой зрения авторов статей.

www.mtk-magazine.ru, e-mail: kevin@paradiz.ru
телефон (факс): +7 (495) 795-02-99, 795-02-97



IV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«ЗАПИСЬ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КИНЕМАТОГРАФЕ И ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ»

О.Н. Раев, к.т.н., ФГУП МКБК

■ 26–27 апреля 2012 года в г. Москве при официальной поддержке Министерства культуры Российской Федерации и Союза кинематографистов РФ успешно прошла IV Международная ежегодная научно-техническая конференция «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях», организаторами которой, как и предыдущих конференций, стали ФГУП «Московское конструкторское бюро киноаппаратуры» (МКБК) и Московский киноvideоинститут (МКВИ). В подготовке конференции также приняли участие Санкт-Петербургский государственный университет кино и телевидения (СПбГУКиТ) и Российская секция научного общества инженеров кино и телевидения (SMPTЕ).

Участники конференции – это почти 140 ведущих специалистов и учёных в области объёмных изображений из более чем 70 организаций и предприятий Германии, Российской Федерации, Украины и Финляндии. На конференции были представители 12 высших учебных заведений: ВГИК им. С.А. Герасимова, ГИТР им. М.А. Литовчина, МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГУ им. М.В. Ломоносова, МГУП им. Ивана Федорова, МКВИ, НТУУ КПИ (Украина), РГГУ, СПбГУ ИТМО, СПбГУКиТ, СПбГУТ им. проф. Бонч-Бруевича, ЧГПУ им. И.Я. Яковлева.

Всего на конференции было представлено и обсуждено 25 докладов по актуальным вопросам исследований, технических разработок и внедрения различных технологий записи, обработки и показа объёмных изображений.

Большое количество докладов было посвящено различным техническим разработкам.

Содержательными и полезными стали доклады Котовского В.Н. и Майорова Н.А. (Госфильмофонд России) о технических особенностях восстановления стереофильмов и Горбунова А.Л. (УТЦ УВД МГТУ ГА) о современных дисплейных решениях дополненной реальности и перспективах развития техники стереокино.

Доклад Мелкумова А.С. (ОАО «НИКФИ») о методике обучения кинематографистов в области стереоскопического кинематографа привёл к оживленной дискуссии об образовательных процессах в нашей отрасли. Дискуссия охватила самые разные стороны образования и активно продолжилась на следующий день на круглом столе в заключительной части конференции.

На конференции прозвучали также доклады, не связанные с кинематографической спецификой, но от того не менее интересные:

- Роголин В.Е. (ФГУП «НПО «Астрофизика») и др., об объёмном представлении в тепловизионной технологии;
- Кувшинов С.В. (РГГУ) и Усков Г.Н. («3D Лига»), о практике и перспективах применения 3D-изображений в образовательных процессах.

Помимо научной программы, в рамках конференции в МКБК и МКВИ был организован ряд различных выставок, с которыми могли ознакомиться как участники конференции, так и студенты МКВИ и все желающие.

Ежегодно наблюдается расширение участия в работе конференции молодых специалистов и учёных, в том числе, их выступления с научно-техническими докладами, что, несомненно, способствует развитию будущего потенциала отечественной науки и техники и появлению будущих инновационных проектов.

Анализируя результаты работы прошедшей конференции, нельзя не признать, что за прошедшие годы конференция стала одним из крупнейших научных форумов в нашей отрасли, объединяющим на неформальной основе значительное количество учёных и специалистов из самых разных организаций и позволяющим всесторонне и критически рассматривать и обсуждать самые разнообразные темы в области объёмных изображений. А учитывая постоянное совершенствование конференции, можно констатировать, что у этого мероприятия хорошие перспективы дальнейшего развития.

Актуальность рассмотренных на конференции вопросов подтверждается интересом, проявленным участниками к докладам, и широкой дискуссией, развернувшейся при проведении заключительного круглого стола.

Организаторы конференции выражают искреннюю благодарность и признательность всем партнёрам и участникам прошедшей конференции и сообщают, что началась подготовка к юбилейной V Международной научно-технической конференции «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях», которая состоится в апреле 2013 года. Подробности смотрите на сайте: www.стереоконференция.рф. ■



ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЪЁМНОЙ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ

(IV Международная ежегодная научно-техническая конференция «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других отраслях», 26–27 апреля 2012, МКБК)

Бирючинский С.Б., доцент, к.ф.-м.н., СПбГУИТМО, Тихомирова Г.В., профессор, д.т.н., СПбГУКиТ, Барский И.Д. доцент, к.т.н., ОАО «Кинотехника»

■ Создаваемые в рамках данной работы оптические системы относятся к одному из перспективных направлений объёмной оптической записи информации. Теоретически и практически обоснованная возможность реализации динамически перестраиваемых оптических систем с дифракционным качеством изображения (число Штреля более 0.9) позволяет соз-

дать устройство оптической памяти с предельно достижимыми характеристиками. Особенно актуальным являются габариты создаваемого устройства. В настоящей работе предлагается оптическая система для записи(считывания) информации на многослойный дисковый носитель диаметром 120 мм, толщиной 1.2 мм. Особенностью всех оптических систем для мно-

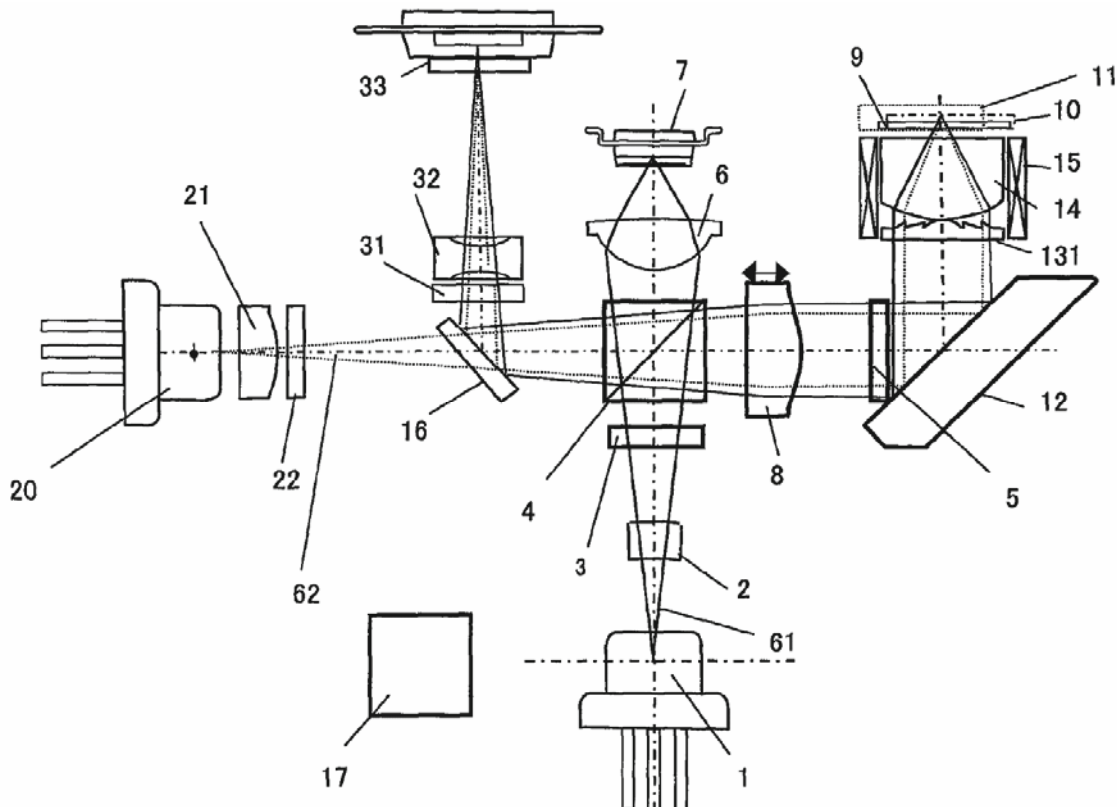


Рис. 1. Оптическая система многослойной записи высокой плотности с корректором осевой сферической аберрации

гослойной записи является необходимость в коррекции продольной сферической aberrации от плоской поверхности в сходящемся пучке.

Подобные задачи встречались и ранее как для приложений записи информации (многослойный DVD или Blu-ray диски), а также и в других приложениях. На рис. 1 в качестве примера приведена оптическая система многослойной записи высокой плотности с корректором осевой сферической aberrации [1].

Особенностью данной схемы является возможность коррекции продольной сферической aberrации, возникающей при перепадах температуры. Данная система в целом не скорректирована по термооптическим aberrациям, поэтому коррекция производится выделенным подвижным компонентом (8 на рис. 1). В остальном коррекция по глубине фокусировки является неудовлетворительной.

В [2] приводится оптическая схема для высокой плотности записи с корректором сферической aberrации и астигматизма на базе жидкокристаллического элемента (рис. 2).

Подобный корректор позволяет в достаточной степени исправить как остаточный астигматизм оптической системы (вызванный, например, технологической разъюстировкой), так и создаваемый самим диском (искривление поверхности). При этом степень коррекции оказы-

вается недостаточной для полноценной перестройки системы на разные глубины фокусировки в глубь диска.

Помимо осевых aberrаций, существенное влияние на качество системы оказывает кома, вызываемая как наклоном самого диска относительно объектива (динамически изменяемая величина), так и некоторыми небольшими разъюстировками оптических компонентов (величина комы в этом случае, как правило, статична, однако на практике заметно зависит от температуры всего прибора и отдельных его компонентов). В [3] приводится пример исполнения системы с динамической коррекцией комы, что позволяет существенно уменьшить такой недостаток как джиттер (рис. 3).

В данной схеме коррекция комы производится динамически регулируемым наклоном ближайшего к диску компонента оптической системы. Конструктивно такое решение является наиболее удачным, так как конструкция магнитного подвеса линзы заметно не усложняется, а общий вес и стоимость системы остаются практически неизменными.

Одним из способов увеличения информационной ёмкости оптических дисков является увеличение количества слоёв записи. Способы, основанные на увеличении числовой апертуры оптической системы и уменьшении рабочей длины волны, практически исчерпали свои возможности (например, для дисков Blu-ray числовая апер-

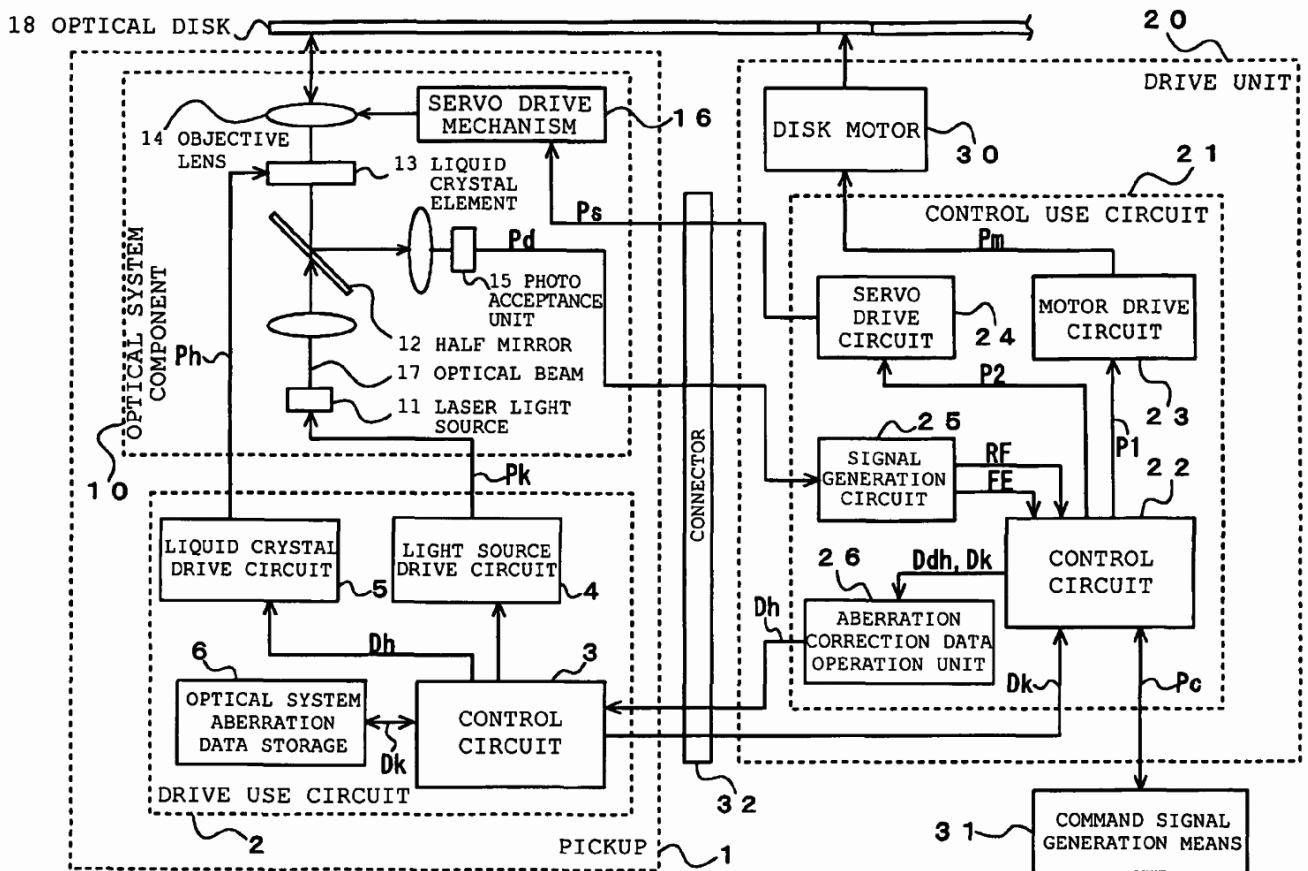


Рис. 2. Оптическая система многослойной записи высокой плотности с корректором сферической aberrации на базе жидкокристаллического элемента

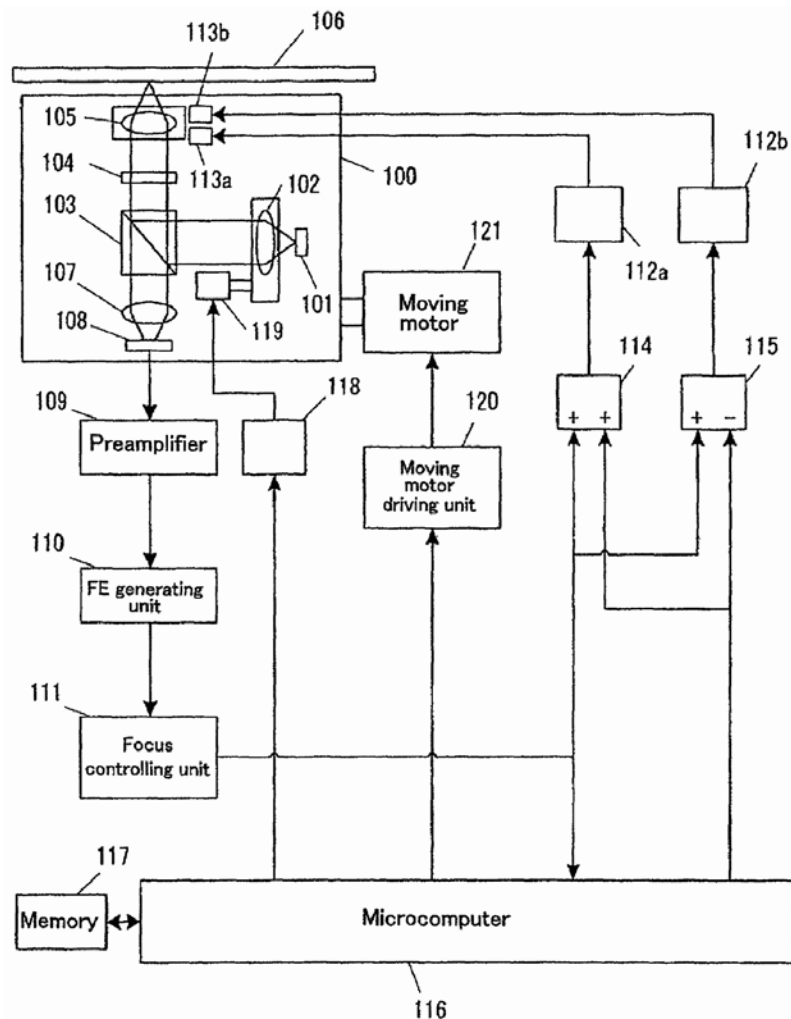


Рис. 3. Оптическая система многослойной записи высокой плотности с корректором комы

тура объектива составляет 0.85). При этом влияние как осевых, так и внеосевых aberrаций существенно растёт. Увеличение числа слоёв диска требует, в первую очередь, хорошей коррекции продольной сферической aberrации. При хорошем исправлении aberrаций число записываемых слоёв может достигать нескольких сотен. Главная сложность в создании подобных систем заключается в специфическом ходе aberrационной кривой сферической aberrации плоскости. Классические методы расчёта и композиции оптических систем непригодны для подобного рода задач (невозможность поиска решений для коррекции aberrаций высших порядков, даются

лишь общие рекомендации). Полуаналитические методы расчёта (теория об «архитектуре оптимальных оптических систем» применялась в [4]) позволяют решить поставленную задачу достаточно эффективно. Успешно решается и задача достижения практически дифракционного качества во всём диапазоне глубин фокусировки, при этом также возможно заранее запрограммировать как требуемый ход aberrационной кривой (не производится разделение aberrаций на порядки), так и требуемое изменение числовой апертуры объектива.

На рис. 4 приведён фокусирующий объектив с функциями корректора поля и осевой сферической aberrации (разработка С.Б. Бирючинского). В отличие от систем предыдущих поколений, здесь реализована функция изменения глубины фокусировки на всю толщину диска (в данном случае 1.2 мм, но возможны системы и с большим рабочим диапазоном). Числовая апертура системы составляет около 0.6 (0.5 в базовом варианте), что является наиболее оптимальным для практического использования. Рабочая длина волны света зависит от материала рабочих слоёв и метода записи. На практике могут применяться длины волн вплоть до 355 нм. Теоретически возможно поднятие числовой апертуры до 0.85, од-

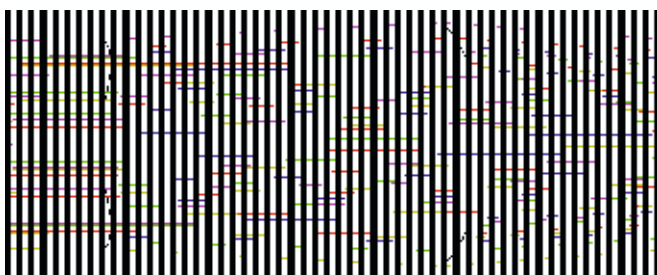


Рис. 4. Оптическая схема корректора поля и осевой сферической aberrации

нако практически такие системы нецелесообразны из-за сложности динамической коррекции искажений, вносимых как структурой диска, так и отдельными компонентами системы. Остаточные aberrации системы определяются исключительно точностью изготовления оптических компонентов и их юстировки, что иллюстрируют рисунки 5 и 6 (расчётное число Штреля во всём диапазоне фокусировки превышает 0.99). Рис. 7 и 8 иллюстрируют продольную сферическую aberrацию системы на разных глубинах фокусировки. Высокое качество коррекции достигается за счёт точного решения для пяти различных зон объектива.

Другим преимуществом разработанной системы является возможность записи/считывания множества (вплоть

до нескольких сотен) дорожек одновременно, что достигается практически полным исправлением внеосевых aberrаций системы на линейном поле не менее 100мкм. Подобная особенность также значительно снижает некоторые допуски на установку источников/приёмников света и повышает надёжность системы в целом.

Разработанная система позволяет записывать на специальные диски около 5 ТБ информации. Причём надёжность системы, её масса и потенциальная себестоимость сопоставимы с существующими системами для Blu-ray дисков. В настоящее время ведётся работа над созданием оптической системы для наклонно-строчного (по глубине) способа записи, что позволит теоретически повысить информационную ёмкость в десятки раз. ■

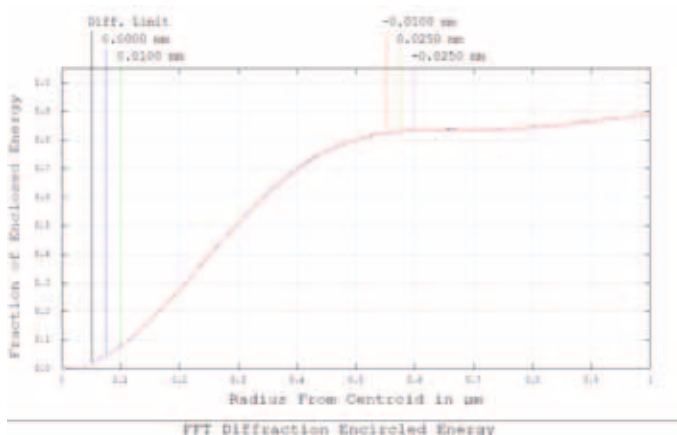


Рис. 5. Концентрация энергии в фокальном пятне объектива, глубина фокусировки 0.1 мм

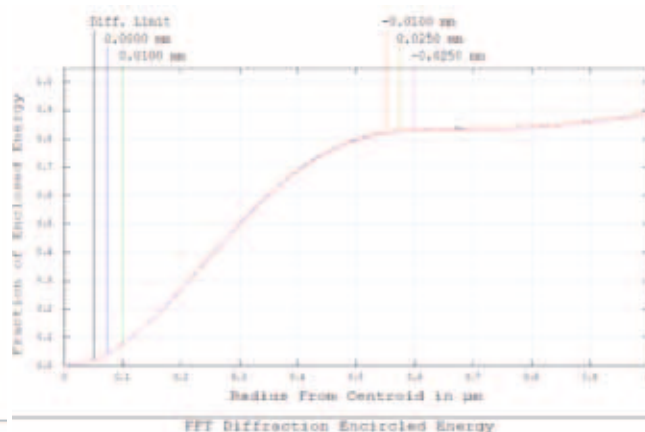


Рис. 6. Концентрация энергии в фокальном пятне объектива, глубина фокусировки 1.2 мм

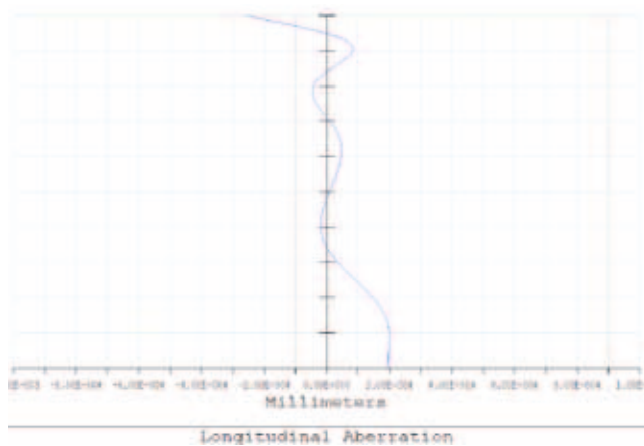


Рис. 7. Продольная сферическая aberrация, глубина фокусировки 0.1 мм

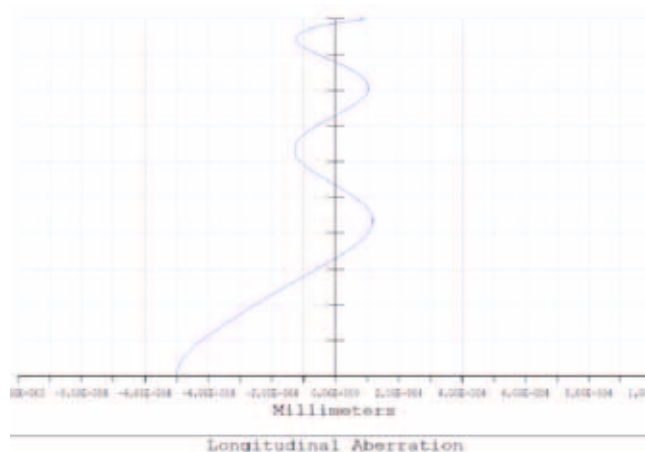


Рис. 8. Продольная сферическая aberrация, глубина фокусировки 1.2 мм

ЛИТЕРАТУРА:

1. Патент США US 8,130,603 B2 (03.2012).
2. Патент США US 8,111,594 B2 (02.2012).
3. Патент США US 8,098,555 B2 (01.2012).
4. Бирючинский С.Б. Современная микроскопия: от 3D-стерео к 4D. // МТК № 3 (21), с. 4–7, 2011.
5. Churayev S., Biryuchinskiy S., Melnikov K., Paltashev T. Phase shift accumulation method for timing characterization // IEEE Xplore, Photonics (ICP), 2011 IEEE 2nd International Conference 2011.



3D В ОБРАЗОВАНИИ: ВОСТОРЖЕННЫЕ ОЖИДАНИЯ И РЕАЛЬНЫЕ ТРЕВОГИ

**(IV Международная ежегодная научно-техническая конференция
«Запись и воспроизведение объёмных изображений
в кинематографе и других отраслях»,
26–27 апреля 2012, МКБК)**

С.В. Кувшинов, к.т.н, Институт новых образовательных технологий РГГУ

Современные инфокоммуникационные технологии радикально меняют форму, и за счёт этого меняется и содержание представления учебного знания. Новизна образовательной среды уже определяется не только, и не столько характеристиками её мультимедийности, сколько качественным изменением структуры и принципов существования. Таким образом, практическая реализация новой образовательной парадигмы находится в прямой зависимости от качества технологического обеспечения. Однако в этом ключе необходимо знать и помнить, что развитие техники в современном мире всё более остро проявляет двойственный характер её достижений. С одной стороны, без современной микропроцессорной техники просто невозможно представить развитие образования, человечества, а с другой, техника – мощная сила, способная вызвать самые негативные, даже трагические, последствия. Непродуманное развитие техники и новейших технологий приводит к тому, что успехи технического прогресса оборачиваются сложными социальными проблемами. Причём опасность заключается не столько в необратимых изменениях природной среды, сколько в изменении самого человека, его сознания и восприятия мира, его ценностных ориентаций, на что, собственно, направлен вектор образовательных моделей. Новая технологическая информационная и коммуникационная революция в образовании происходит на наших глазах, мы являемся её субъектами и объектами. Информационные, коммуникационные, аудиовизуальные, интерактивные, мобильные, 3D технологии уже создали новый мир – мир Hi-tech'a, они сегодня создают новые виды медиакоммуникаций. Разрабатывая новые образовательные проекты, насыщая образовательные учреждения новыми цифровыми устройствами, перестраивая учебный процесс на базе аудиовизуальных и интерактивных технологий, мы должны отдавать себе отчёт в том, что вся эта техника воздействует на учащихся, и мы не можем отмахнуться от тех проблем, которые всё больше становятся темами нашей озабоченности и беспокойства.

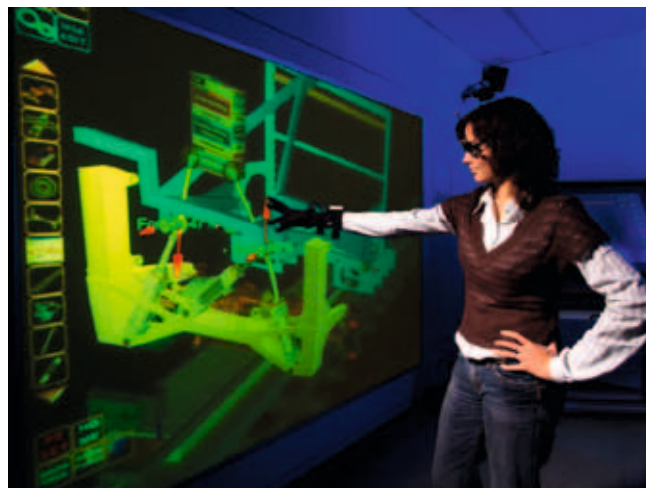
В последние годы трёхмерные технологии прокладывают себе дорогу и в области организации учебных занятий, где их огромный потенциал как средства преподавания очевиден. В 3D-проекторах на основе технологии DLP используются миллионы микроскопических цифровых зеркал, которые отражают свет для создания картинки. Технология DLP так быстра, что успеваает создать на экране одновременно два изображения: одно для левого глаза и одно для правого. Затем 3D-очки комбинируют эти два изображения для создания 3D-эффекта. DLP технология с одним чипом находит применение более чем в 50% проекторах, находящихся в данный момент на образовательном рынке.

Учащиеся и молодёжь вообще часто пользуются самыми разными технологическими устройствами. Как стало ясно из недавнего европейского исследования, проведённого под руководством А. Бэмфорд («LiFE: Learning in Future Education. Evaluation of Innovations in Emerging Learning Technologies»), 90,1% учеников имеют компьютер, 85,3% обладают хотя бы одним мобильным телефоном, а у 74,6% есть портативные игровые консоли. Вполне естественно, что ученики часто пользуются Интернетом: более 91% из них используют сетевые технологии не менее часа в день. Что же касается опыта «общения» с 3D, то 90% учеников смотрели трёхмерные фильмы, причём большинство смотрело их не менее трёх. Беседы с учащимися показывают хорошую осведомлённость о новинках 3D фильмов и оказываются весьма информированными потребителями 3D-продуктов, имеющихся в данный момент на рынке. На занятиях практически все положительно отзываются о 3D и были бы рады, если бы 3D встречалось им в жизни и учёбе чаще. Для современных учеников оказываются весьма важны технологии, поскольку цифровая среда для них «родная», технологии порой меняют взгляд на жизнь.

В рамках проекта Learning in Future Education («Обучение в образовании будущего»), или LiFE, группа исследователей, возглавляемая профессором, доктором



Лекционный зал с системой интерактивного обучения и трёхмерной визуализацией (инсталляция Polymedia)



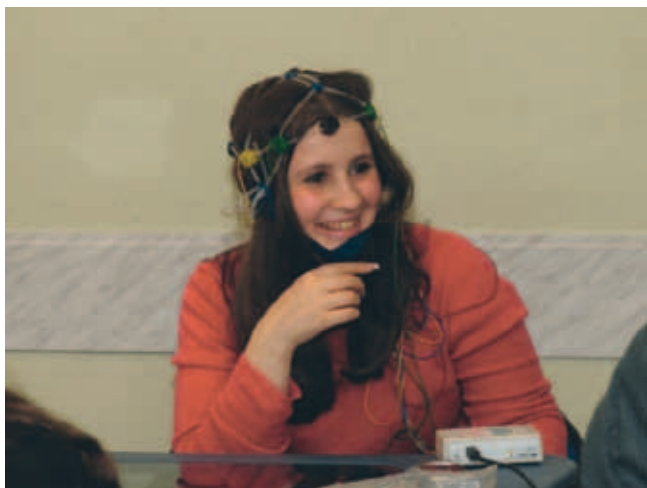
Трёхмерная визуализация на лабораторных работах в ВУЗе

наук А. Бэмфорд, директором Международного исследовательского агентства, провела детальное изучение влияния технологии 3D на обучение. Цель проекта LiFE – определить самые эффективные способы применения 3D в аудитории и измерить их значение и влияние на процесс обучения и результаты успеваемости. В рамках экспериментального исследования рассматривались стратегии обучения и измерялось положительное влияние на результаты образования. Исследование проводилось с октября 2010 г. по май 2011 г. в семи европейских странах. Исследование было направлено на учеников 10–13 лет, изучающих материалы научного содержания. Проектом охвачено 740 учеников, 47 учителей и 15 школ из Франции, Германии, Италии, Нидерландов, Турции, Великобритании и Швеции. В Европе действует закон о равном праве на образование, поэтому в рядовых классах были собраны ученики из разных социальных слоёв, как обладающие, так и не обладающие определёнными особенностями в поведении или обучении. Пятнадцать школ, участвующих в исследовании, были выбраны по принципу прямого доступа, а также по рекомендации от местных органов образования. Все школы согласились участвовать добровольно. Исследованием были охвачены: частные и публичные школы; школы для детей одного пола; городские и сельские школы; школы с высокими и низкими учебными показателями; хорошо оснащённые и плохо оснащённые школы; большие школы и маленькие; начальные, средние и старшие школы; а также педагоги с большим и не очень большим опытом работы. В каждой школе был «контрольный» класс и класс 3D. Обоим классам давались одинаковые задания, но класс 3D также получал 3D-материалы.

По мнению педагогов, наглядность с 3D позволяет ученикам лучше понять принцип действия, и, увидев нечто целиком, они лучше понимают назначение каждой части. Результаты исследования показали, что ученики отдают предпочтение визуальному и кинестетическому обу-

чению: 85% из них предпочли бы видеть и делать, и лишь 15% выбрали бы слушать.

Сложные понятия легче усваиваются, если их разбить на изображения. Из результатов исследования стало понятно, что анимированные трёхмерные модели могли бы стать самым удобным способом подачи информации в форме, пригодной для обучения и восприятия, благодаря чему можно было бы представлять огромные массивы сложной и абстрактной информации в лёгкой понятной форме. Благодаря графической визуализации дети могли воспринимать объекты большей сложности, поскольку анимация позволяла им видеть структурные компоненты и понять принцип работы. В частности, благодаря 3D-анимации ученики могли быстро переходить от целостного вида к рассмотрению различных частей структуры, в том числе, на микроскопическом и клеточном уровне. Этот процесс подачи материала особенно хорошо способствует пониманию. Как показывает практика, трёхмерные учебные материалы легко воспринимаются учениками; материалы, содержащие самое глубокое 3D-изображение и наибольшее количество анимации, оказывают наибольший положительный эффект на запоминание. Создаваемый ими живой образ задействует в обучении все чувства. Во время наблюдений за занятиями 33% учеников тянулись к 3D-объекту, а порой движения их тел было зеркальным отражением движений объекта, особенно если объект «двигался» в их сторону, или если глубина 3D была велика. Результаты исследования А. Бэмфорд указывают на заметный положительный эффект, который трёхмерная анимация оказывает на обучение, вспоминание и итоги экзаменов. В рамках эксперимента 86% учеников, обучавшихся с использованием 3D, показали лучшие результаты по сравнению с предварительным экзаменом, в то время как в «обычных» классах это удалось только 52% учеников. Рост успеваемости у каждого отдельного ученика также был намного выше в классах, где использовалось 3D. Индивидуальные результаты в 3D-классах повысились в сред-



Исследование влияния новых технологий на здоровье учащихся (РГГУ)

нем на 17%, в то время как в «обычных» классах улучшение составило 8%. Указанное улучшение результатов подтверждалось и качественными данными. 100% учителей были согласны с утверждением, что 3D-анимация на учебных занятиях помогала детям лучше понимать материал, и 100% учителей были согласны с утверждением, что благодаря 3D ученики смогли открыть для себя что-то, чего не знали раньше. Учителя отметили, что учащиеся в 3D-группах глубже понимали предмет, их вниманием было проще завладеть, они были более мотивированы и больше вовлечены в процесс. Результаты, полученные от педагогов, перекликались с результатами, полученными от учеников: учащиеся из 3D-групп были более уверены в своих знаниях, чем учащиеся контрольных групп. Учащиеся показали уверенность (84% выразили согласие с утверждением), что 3D позволяет им лучше учиться. Высокий уровень удовлетворённости учащихся обучением с использованием 3D подкреплялся прохождением теста в 83% случаев.

В тесте на запоминаемость учащиеся из 3D-классов лучше вспоминали подробности и последовательность процессов, чем учащиеся других групп. Как учащиеся, так и учителя отметили, что 3D делает обучение более «настоящим», и что «настоящие» примеры позволяют лучше понимать материал и повышают успеваемость. Учащиеся из 3D-групп также показали лучшие результаты в свободных задачах и задачах на моделирование.

В рамках исследования было проведено несколько тестов на регрессию. Учителям было поручено через месяц проверить, что ученики успели забыть, и описать как количественные, так и качественные отличия в запоминании между учащимися 3D-групп и остальными. Для определения запоминания и способности к воспоминанию были предложены открытые задачи. Учителя отмечали отличия в том, как ученики из 3D-групп и остальные вспоминали материал. Например: ученики из 3D-групп чаще использовали жесты и движения тела при ответе; лучше выстраивали предложенные понятия



3D монитор и образовательный контент

в последовательность; лучше разбирались в понятиях (особенно, если новое понятие было впервые им представлено в 3D); лучше описывали то, чему научились — больше писали, больше говорили и больше использовали модели для объяснения изученного. Но самое важное то, что учащиеся из 3D-классов через месяц смогли вспомнить больше, чем ученики из «обычных» классов. Отличия наблюдались не только в количестве вспомненного материала: учащиеся из 3D-групп излагали знания более связно, системно. Учащиеся из 3D-групп подробнее отвечали на открытые вопросы и охотнее «думали в 3D». Многие ученики при ответе на тестовые вопросы использовали жесты и мимику для воссоздания увиденного ранее в 3D.

Использование 3D в учебном процессе приводит к положительным сдвигам в моделях поведения и общения, а также улучшению взаимодействия в аудитории.

А. Бэмфорд приводит такие данные, что по результатам пост-опроса 100% учителей отметили, что ученики уделяли больше внимания урокам в 3D, чем иным урокам, а 70% учителей отметили, что поведение учеников было лучше при использовании 3D. Думается, что главная причина в том, что уровень внимания был выше во время и сразу после демонстрации 3D. В среднем, 46% учеников были внимательны в течение 5 минут во время «обычной» части урока, и 92% учеников были внимательны за тот же срок во время 3D-части! По окончании 3D-части степень внимания продолжала расти и оставалась высокой до конца урока. Так, 96% учеников оставались внимательны в течение 5 минут после демонстрации 3D.

Просмотр 3D-материала и вызываемые им вопросы являются факторами, удерживающими внимание учащихся. Учащиеся с расстройствами внимания, как правило, показывают самый большой положительный сдвиг в уровне внимания и коммуникации в сравнении 2D и 3D.

Проведённое исследование не выявило каких-либо девиантных проявлений, связанных с 3D, однако по советам

А. Бэмфорд, пока не стоит интенсифицировать процесс обучения с 3D более чем 10–12 минут в период 45-минутного занятия.

Современная практика интенсивного использования IT и AV в образовании позволяет выделить, как минимум, пять тревог или правильно было бы выразиться, заболеваний нового века, к которым медики относят: туннельный синдром запястий; зрительный синдром; позвоночный синдром; дыхательный или лёгочный синдром; венозно-сосудистый синдром. По данным статистики, практически каждый «продвинутый» учащийся обладает, по крайней мере, двумя из пяти перечисленных синдромов. Недостаточная эргономика и отсутствие культуры организации работы – вот стандартный ответ на вопрос: почему складывается такая ситуация в учебных заведениях, взявших курс на интенсивное использование цифровых технологий. Сегодня существуют нормы и ГОСТы на организацию рабочих мест, но не всегда они учитывают индивидуальные особенности конкретных людей. А неумение грамотно организовать себя, своё время и своё окружающее пространство приводит к столь плачевным результатам в виде ухудшения физического здоровья. Компьютерная техника и высокие технологии в своём глобальном, тотальном наступлении на общество, образование и культуру приводят, в конечном счёте, к «деформации» молодых людей. Эту новую генерацию социологи окрестили как Homo Digital. Одним из её проявлений, которое всё чаще обсуждается в педагогической прессе, стала потеря навыков самостоятельно написания текстов, создания рисунков и т.д., они подменяются навыками компиляции, использованием готовых форм, макетов, имиджей. Клавиатура и мышь вытесняют традиционные пишущие инструменты. На наших глазах происходит подлинная узурпация памяти мобильными, электронными носителями памяти, флэш-картами и т.д. Узурпация сознания интеллектуальными программами и устройствами. По мнению учителей и педагогов успешных московских школ, происходит катастрофическая потеря грамотности и вычислительных способностей у учащихся. Язык является своеобразным барометром общественного развития и отношений, язык чутко реагирует на малейшие изменения во всех сферах жизни. Средства массовой информации, реклама, деловое общение, электроника, наука и техника являются основными источниками для обновления языка. В последнее время в молодёжный оборот всё больше поступает слов суррогатного языка SMS сообщений. В нашей педагогической практике мы заметили, что молодые люди не могут длительное время сосредотачиваться на какой-либо информации, и у них снижена способность к анализу. Современным школьникам осилить что-либо из классической литературы XIX века становится сложной задачей. Современные учащиеся, обладатели клипового мышления, оперируют только смыслами фиксированной длины и не могут работать с семиотическими структурами произвольной сложности. Другая же сторона клипового

мышления в том, что теряются чувства сопереживания, ответственности. Стремясь побыстрее получить нужные сведения, школьники и студенты часто опираются исключительно на зрительную память, не используя слуховую, тактильную, обонятельную, эмоциональную. Информация, которую они не пропустили через себя, не прочувствовали и не проанализировали, назавтра стирается из сознания частично или полностью. Ещё одна проблема: это виртуализация общения, общение с аватарами, программами и объектами несуществующей реальности. Согласно исследованиям психологов, давно изучающих IT, происходит формирование определённой IT зависимости. По мнению специалистов, это свидетельствует о боязни контактов «глаза – в глаза», это считается попыткой бегства от реальности. Но существует ещё одно мнение психологов на увлечение чатами – это проявление второй природы подростков как новый способ самовыражения, удобное средство для реализации естественной потребности в мире новых технологий. С неосознанным, стремительным, стихийным внедрением цифровых технологий в образование происходит замена процессов осмысления фрагментарными процессами информационного насыщения; прогрессирование клипового мышления, замена текста визуальными объектами ограниченной информационной ёмкости.

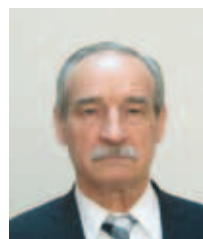
Внедрение 3D, технологий трёхмерного отображения информации в учебный процесс школ и ВУЗов также имеет свою обратную сторону. Признавая успехи учеников в освоении предметного поля дисциплин, следует отметить и те негативные черты, которые уже проявились среди учащихся. В первую очередь, это так называемое киберукачивание. Первые упоминания об этом появились в 1993 г. Когда компания SeGa разработала первый прототип стереоскопических очков для видеоигр, очки давали возможность полностью погрузиться в мир виртуальной реальности – это стало возможным благодаря маленьким дисплеям, которые проецировали трёхмерную картинку на сетчатку глаз. В исследованиях последнего десятилетия отмечается, что в среднем у 10–20% людей, смотрящих видео в 3D формате, просмотр вызывает тошноту и головокружение. Причиной этого является сенсорный конфликт между частями зрительного аппарата. Когда трёхмерный объект как бы покидает плоскость экрана, при взгляде на него глазные яблоки поворачиваются вовнутрь. Однако хрусталики продолжают фокусировать свет, исходящий от экрана, чтобы изображение сохраняло свою чёткость. Несмотря на то, что положение зрачков изменилось, кривизна хрусталика остаётся прежней. Такое состояние не нормально и вызывает, как правило, приступ тошноты.

Сегодня на повестку дня выходит проблема технологий, ориентированных на Человека, для Человека, созданных во имя Человека, технологий, которые бы развивали его, не нанося вреда эмоциональному, физическому и интеллектуальному здоровью – Human IT – технологии будущего. ■



ПОСТРОЕНИЕ ДВУМЕРНОЙ МАКРОМОДЕЛИ компенсатора акустических шумов

С.А. Башарин, д.т.н.,
А.А. Белоусов, д.т.н.,
СПбГУКИТ



Аннотация

В статье предлагается метод построения операторной модели компенсирующего устройства в звуковом канале кино- видеоаппаратуры с целью улучшения качества звука. В случае, если звукозапись производилась на фоне акустических шумов, то шумы можно устранить путём включения компенсирующего устройства, построенного на основе многомерной цифровой макромодели. Для практических целей предлагается сформировать двумерную модель устройства, которая обеспечит достаточную степень компенсации шумов и высокое качество звучания. В основу формирования математической макромодели положена система нелинейных функциональных уравнений состояния.

Ключевые слова: качество звука, устранение шумов, компенсирующее устройство, двумерная макромодел, уравнения состояния, нелинейные функциональные уравнения, идентифицирующая матрица, нелинейный матричный оператор.

При создании кинофильма в ряде случаев звукозапись приходится производить в естественных условиях окружающей среды [1]. Это влечёт за собой появление проблем, связанных с одновременной записью помех и искажением звука. В настоящей статье ставится задача устранения (коррекции) фоновых и других шумов, записанных вместе с полезным звуковым сигналом, а также коррек-

CONSTRUCTION OF TWO-DIMENSIONAL MACROMODEL OF COMPENSATION DEVICE FOR NOISE SUPPRESSION

Basharin S.A., Belousov A.A.

Abstract

This abstract describes the method of construction of operator model of compensation devices in sound channel of film- video- apparatus with the aim of improving the quality of sound. Sound recording being produced on a phone of acoustic noise, one can suppress the noise using the way of connection of compensating devices, constructed in terms of multidimensional digital macromodel. For practical aims, it is suggested to form two-dimensional model of device for providing the sufficient factor of noise compensation and nonlinear functional equation of condition is included into basis of mathematical macromodel forming.

Keywords: Sound quality, suppression of noise, compensation devise, two-dimensional macromodel, condition equation, non-linear functional equation, non-linear matrix operator.

ции записанных звуковых сигналов в соответствии с заданными параметрами качества. От качества звукозаписи зависит качество воспроизводимого видеоаппаратурой звука. В том случае, если звукозапись производилась на фоне акустических шумов, то их можно устранить путём включения компенсирующего устройства, построенного на основе многомерной макромодели.

Многомерная макро модель корректирующего устройства может обеспечить необходимое качество воспроизведения звука, но отличается большой сложностью и, как следствие, трудоёмкостью при реализации компенсирующего устройства. Поэтому для практических целей можно ограничиться построением двумерной модели, которая обеспечивает достаточную степень компенсации шумов и высокое качество звучания.

В основу формирования математической макро модели положена система нелинейных функциональных уравнений состояния, которую в пределах малого интервала времени можно записать в приведённом дискретном виде, известном в литературе как дискретная форма уравнений состояния [2]:

$$W_{j+1} = \Phi \cdot W_j,$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 + ha_{11} & ha_{12} & \dots & ha_{1n} & hb_{11} & \dots & hb_{1m} \\ ha_{21} & 1 + ha_{22} & \dots & hb_{2n} & hb_{21} & \dots & hb_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ ha_{n1} & ha_{n2} & \dots & ha_{nn} & hb_{n1} & \dots & hb_{nm} \end{bmatrix}$$

где:

Φ – расширенная матрица параметров, в которой $a_{11} \dots a_{nn}$ и $b_{11} \dots b_{nm}$ – коэффициенты матриц линейных канонических уравнений состояния, h – шаг численного расчёта,

$$W_j = [y_{1j} \quad \dots \quad y_{nj} \quad e_{1j} \quad \dots \quad e_{mj}]^T$$

– обобщённый вектор состояния и воздействий для дискретных (точечных) спектров сигналов, который в дальнейшем будем называть дискретным спектром состояния, n – порядок вектора откликов, m – порядок вектора воздействий.

Если представить динамическую систему передачи звука в виде звена с одним входом и одним выходом (рис. 1),

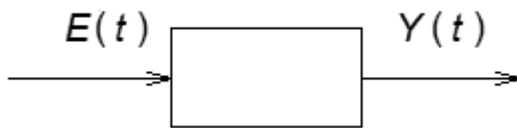


Рис. 1. Динамическая система с одним входом и одним выходом

то уравнение звена можно записать в виде

$$Y(t) = L \cdot E(t),$$

где: L – оператор передачи. Или в дискретной форме:

$$L^* \cdot W(t^*) - \Delta = 0$$

где, $L^* = \begin{bmatrix} a & b \end{bmatrix}$ – нестационарный матричный оператор, построенный на интервале идентификации θ , $W(t^*)$ – обобщённый вектор состояния и воздействий, Δ – разностный оператор.

Дискретную математическую модель компенсатора можно ещё записать в виде:

$$\xi_j \cdot L^* = \Delta_j,$$

где ξ_j – идентифицирующая матрица на j -м интервале дискретизации, L^* – дискретный матричный оператор компенсирующего устройства, Δ_j – разностный оператор на j -ом интервале дискретизации (рис. 2).

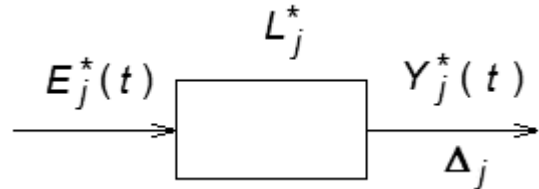


Рис. 2. Дискретная математическая модель компенсатора

Построение дискретной модели состоит в определении элементов идентифицирующей матрицы ξ_j , инверсия которой позволит, в свою очередь, определить матричный оператор L^* . Последний обеспечивает адекватность модели физически реализуемого устройства и является конечной целью моделирования [3].

Для построения модели компенсатора необходимо сформировать желаемую функцию выходного сигнала, т.е. звукового сигнала без наложенных шумов и с заданными акустическими свойствами, определяемыми вектором $Y(t)$. На основе выходного дискретного вектора $Y^*(t)$ формируется идентифицирующая матрица ξ_j двумерной модели [1]. Для этой цели определяется вектор параметров вычислительного алгоритма A_i из условия приближения конечного интеграла аппроксимирующей квадратурной формулой:

$$\int_{t_j}^{t_{j+1}} f[E(t), Y(t)] dt \approx \delta \sum_{i=1}^{2q} A_i \cdot f[E(t^*), Y(t^*)]$$

Конечная сумма представляется в виде суммы двух матричных произведений, разделяющих вектор воздействий и вектор откликов [2]:

$$\delta \sum_{i=1}^{2q} A_i (aY_{j+i-1} + bE_{j+i-1}) - \Delta_j = 0 \quad (1)$$

Для определения параметров численного алгоритма A_i в выражении (1) формируется система алгебраических уравнений, решение которых позволяет определить значения коэффициентов:

$$\sum_{i=1}^{2q} A_i = 1 \quad ; \quad \sum_{i=1}^{2q} A_i \cdot (i - q)^k = \frac{1}{k + 1}, \quad k = 1, \dots, (2q - 1)$$

Подстановка значений A_i в выражение (1) даёт одно из уравнений, необходимых для синтеза параметров модели. Для получения недостающих для решения задачи синтеза уравнений производится смещение временных отсчётов

на / интервалов дискретизации, в результате чего уравнение (1) образует систему алгебраических уравнений, разрешимую относительно искомых параметров модели:

$$\begin{cases} \delta \sum_{i=1}^2 A_i \cdot a \cdot y_{j+i-1} + \delta \sum_{i=1}^2 A_i \cdot b \cdot e_{j+i-1} - \Delta_j = 0 \\ \delta \sum_{i=1}^2 A_i \cdot a \cdot y_{j+1+i-1} + \delta \sum_{i=1}^2 A_i \cdot b \cdot e_{j+1+i-1} - \Delta_{j+1} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Систему уравнений (2), характеризующую динамику компенсирующего устройства, можно записать в дискретном виде:

$$\lambda L^* \cdot W_{j+pl} - \Delta_{j+pl} = 0$$

$$\lambda \cdot L^* = \begin{bmatrix} \delta \sum_{i=1}^2 A_i \cdot a & \delta \sum_{i=1}^2 A_i \cdot b \\ \delta \sum_{i=1}^2 A_i \cdot a & \delta \sum_{i=1}^2 A_i \cdot b \end{bmatrix}; \quad W_{j+pl} = \begin{bmatrix} y_j & y_{j+1} \\ y_{j+pl} & y_{j+1+pl} \\ e_j & e_{j+1} \\ e_{j+pl} & e_{j+1+pl} \end{bmatrix};$$

$$\Delta_{j+pl} = \begin{bmatrix} \Delta_j \\ \Delta_{j+pl} \end{bmatrix}$$

Раскрыв конечную сумму в системе уравнений (2), получим систему двух уравнений в развёрнутом виде:

$$\begin{cases} \delta \cdot A_1(a \cdot y_j + b \cdot e_j) + \delta \cdot A_2(a \cdot y_j + b \cdot e_j) - \Delta_j = 0 \\ \delta \cdot A_1(a \cdot y_{j+1} + b \cdot e_{j+1}) + \delta \cdot A_2(a \cdot y_{j+1} + b \cdot e_{j+1}) - \Delta_{j+1} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

В матричной форме система (3) будет иметь вид:

$$\lambda \cdot L^* \cdot W_{j+pl} - \Delta_{j+pl} = 0,$$

или: $\xi_{j+pl} \cdot L^* = \Delta_{j+pl}$, где $\xi_{j+pl} = \lambda \cdot W_{j+pl}$

$$\lambda = \delta \cdot \begin{bmatrix} A_1 & A_2 & A_1 & A_2 \\ A_1 & A_2 & A_1 & A_2 \end{bmatrix};$$

В результате дискретных преобразований получается матричная система алгебраизированных динамических уравнений, инверсия которой позволит определить

дискретные значения параметров матричной модели компенсирующего устройства на рассматриваемом отрезке интервала дискретизации $[t+pl]$.

Для идентификации параметров матричного оператора модели производится инверсия идентифицирующей матрицы ξ_{j+pl} , где:

$$L^* = \xi_{j+pl}^{-1} \cdot \Delta_{j+pl}$$

$$\xi_{j+pl} = \begin{bmatrix} \delta \sum_{i=1}^2 A_i \cdot y_{j+i-1} & \delta \sum_{i=1}^2 A_i \cdot y_{j+i-1} \\ \delta \sum_{i=1}^2 A_i \cdot y_{j+i+pl-1} & \delta \sum_{i=1}^2 A_i \cdot y_{j+i+pl-1} \end{bmatrix},$$

Умножение инвертированной матрицы идентификации ξ_{j+pl} на разностный оператор Δ_{j+pl} позволяет идентифицировать параметры матричного оператора компенсирующего устройства, который представляется в виде:

$$L^* = [a \quad b]$$

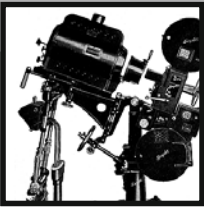
Матричный оператор макромодели компенсатора L^* позволяет определить на рассматриваемом интервале идентификации Θ множество коэффициентов a и b уравнений состояния.

Следует отметить, что при перемещении интервала идентификации в пределах рабочего интервала времени, придётся на каждом интервале Θ вновь повторить все расчёты. Это означает, что в результате матричный оператор L^* будет нестационарным, а модель компенсирующего устройства будет нелинейной.

Предложенный новый метод формирования матричного оператора модели корректирующего устройства позволяет производить синтез его макромодели с целью устранения шумов и звуковых помех при записи звука в естественных условиях, а также производить коррекцию записанных звуковых сигналов в соответствии с заданными требованиями.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Харькевич А.А. Борьба с помехами. Классика инженерной мысли. – М.: Либроком, 2009.
2. Башарин С.А., Панкин А.М. Построение диагностической модели электрической цепи путём последовательных матричных преобразований // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – М.: 2010.
3. Башарин С.А., Панкин А.М. Условия идентифицируемости параметров элементов электрических цепей при диагностических измерениях // Проблемы качества математического моделирования информационных и электронных систем / Матер.межд. конф. / М.: Радио и связь, 2003.



Физические и психофизиологические КОМПОНЕНТЫ УХУДШЕНИЯ СТЕРЕООБРАЗОВ ПРИ НАКЛОНЕ ГОЛОВЫ



Г.И. Рожкова, д.б.н.,
МГППУ

Аннотация

Современные массовые технологии создания и демонстрации стереофильмов рассчитаны на вертикальную ориентацию головы зрителя. Однако существует мнение, что некоторые 3D-технологии обеспечивают возможность нормального наблюдения стереоизображений при значительном наклоне головы к плечу без потери качества видимых образов и без появления зрительного дискомфорта. В статье показано, что это заблуждение обусловлено игнорированием структурной анизотропии бинокулярной зрительной системы и особенностей психофизиологии зрительного восприятия человека.

Ключевые слова: стереокино, 3D-технологии, наклон головы, зрительный дискомфорт, перекрёстные помехи, анатомическая анизотропия, противополоворот глаз.

Введение

В статье обсуждается влияние наклона головы к плечу на восприятие изображений 3D формата, демонстрируемых в кинозале или на телевизионном экране. Возможность ухудшения качества видимых стереообразов и появления зрительного дискомфорта при изменении исходно вертикальной ориентации головы зрителя может вызываться целым рядом физических и физиологических факторов. Обусловленные наклоном головы изменения физических сигналов, которые поступают

PHYSICAL AND PSYCHOPHYSIOLOGICAL COMPONENTS OF STEREOIMAGE IMPAIRMENT DUE TO HEAD TILT

G. Rozhkova

Abstract

Current mass technologies of stereo image creation and demonstration imply vertical orientation of spectator head. However, there is an opinion that, in conditions of significant head tilt, some technologies provide a possibility to perceive stereo images normally, with no loss of quality and without visual discomfort. In this paper, it has been shown that such a delusion is caused by ignoring structural anisotropy of human binocular visual system and psychophysiological aspects of visual perception.

Keywords: stereoimages, 3D technologies, head tilt, visual discomfort, crosstalk, anatomical anisotropy, ocular counterroll.

на сетчатки двух глаз от экранного изображения через вспомогательные сепарирующие устройства (стереочки или растр), определяются, во-первых, изменением геометрических отношений между глазами и экраном, а во-вторых, – зависимостью/независимостью качества сепарации от взаимной ориентации экрана, сепарирующего устройства и глаз. При наклоне головы изменения качества сепарации могут быть значительными, а могут и отсутствовать, но изменения геометрических взаимоотношений между экранными и сетчаточ-

ными изображениями имеют место всегда. Эти изменения сказываются на физиологических сигналах, которые поступают от сетчаток в мозговые отделы зрительной системы, приводя к осложнениям психофизиологического процесса восприятия стереоскопических изображений и вызывая зрительный дискомфорт при любой технике сепарации левого и правого изображений.

Поводом для написания данной статьи явилась некорректная реклама 3D-технологии, якобы, позволяющей зрителю смотреть стереофильмы при значительном наклоне головы к плечу без потери комфортности восприятия и ощущения глубины. По всей видимости, авторы рекламного ролика имели в виду главным образом то преимущество, которое даёт замена ортогональной линейной поляризации света в левом и правом изображениях, на круговую поляризацию с вращением векторов электромагнитного поля в противоположных направлениях – по часовой стрелке и против часовой стрелки. Действительно, такая замена позволяет обеспечить одинаково хорошее прохождение левого изображения через левый светофильтр (далее по тексту – фильтр) стереочков, а правого – через правый, независимо от наклона головы и очков, тогда как в случае фильтров с линейной поляризацией ситуация драматически меняется при заметном наклоне. Однако авторы рекламы обратили внимание лишь на техническую сторону вопроса – качество сепарации изображений, не углубляясь в психофизиологическую суть изменений восприятия, происходящих при наклоне головы, которые весьма существенны и имеют место при любой технике показа стереофильмов. Этой некорректности в средствах массовой информации можно было бы не придавать значения, но как показал опрос специалистов и зрителей, к сожалению, многие из них не могут дать определённого ответа на вопрос о влиянии наклона головы. В связи с этим мы сочли необходимым обсудить данный вопрос детально, хотя он и кажется сначала весьма простым. Чтобы легче было анализировать механизм влияния наклона головы на восприятие стереофильмов, далее мы остановимся отдельно на физической и психофизиологической стороне вопроса.

Изменения физических сигналов

Физические сигналы, поступающие с экрана от изображений стереопары на сетчатки левого и правого глаза при разных позициях головы, могут различаться по причинам разного характера – геометрическим и оптическим. Напомним, что в настоящее время в различных областях стереоскопии применяются, в основном, следующие методы предъявления и наблюдения изображений:

- анаглифная гаглоскопия – использование в левом и правом изображениях дополнительных цветов (обычно – красного и сине-зелёного) и рассматривание их через очки с цветными фильтрами, избирательно пропускающими левое изображение в левый глаз, а правое – в правый;

- технология Infitec – использование дополняющих друг друга спектральнональных (гребенчатых) фильтров при проецировании левого и правого изображений, а для зрителей – стереочков с такими же фильтрами;

- ортогональная линейная поляризация света в левом и правом изображениях и фильтры в очках для зрителей, пропускающие излучения с соответствующей поляризацией;

- круговая поляризация света с вращением вектора поляризации в разных направлениях (по часовой стрелке и против) в двух изображениях стереопары и очки с соответствующими фильтрами для зрителей;

- чередование (быстрая смена) на экране левого и правого изображений и использование синхронно работающих затворных стереочков для зрителей;

- растровая сепарация с механическими (решётки из непрозрачного материала) или оптическими (растровые экраны с цилиндрическими или коническими линзами) элементами для адресации чередующихся на экране фрагментов левого и правого изображений соответствующему глазу.

Изменения яркости и качества сепарации

Рассмотрим сначала самый простой вопрос – о возможных изменениях яркости проецируемых на сетчатку изображений и качества их сепарации при наклоне головы к плечу. Если у световых сигналов и сепарируемых элементов имеются выделенные направления, интенсивность света, проходящего от экранного изображения в глаз, при наклонах головы может меняться из-за изменения взаимной ориентации выделенного направления светового сигнала и соответствующей ему оптимальной ориентации сепарирующего устройства. При этом могут иметь место два нежелательных эффекта, которые обсуждались во многих работах по проблемам 3D-технологий [6, 7, 16 и др.]:

- снижение интенсивности света, проходящего от правого изображения стереопары в правый глаз и от левого – в левый, т. е. уменьшение полезных сигналов;

- появление перекрёстных помех (смешение в каждом глазу левого и правого изображений) из-за частичного проникновения в левый глаз изображения, предназначенного правому глазу, и наоборот.

Анализируя перечисленные выше методы, следует отметить, что в большинстве случаев появление таких нежелательных эффектов по причине наклона головы практически полностью исключено. Легко видеть, что при использовании любого из «очковых» методов, не базирующихся на поляризации света, изменение ориентации очков в пространстве при наклоне головы никак не влияет на физические излучения, проходящие к глазам от экранного изображения через соответствующие фильтры. Действительно, что касается обоих цветоделительных методов, то тут независимость от угла наклона головы обеспечивается изотропией применяемых цветных фильтров. Аналогичная ситуация имеет место и для

методов временной сепарации с применением затворных жидкокристаллических (ЖК) стереочков: ЖК-фильтры также изотропны, в связи с чем очки будут обеспечивать одинаковые уровни пропускания/подавления изображений при любой их ориентации.

Для очковых поляризационных методов, использующих круговую поляризацию света и фильтры с соответствующей избирательностью, это тоже справедливо. Из распространённых очковых методов только для методов, основанных на линейной поляризации света, характерно существенное изменение физических сигналов, проходящих через сепарирующие фильтры, при наклонах головы зрителя. Для иллюстрации сравним функционирование систем с круговой и линейной поляризацией света. На рис. 1 схематически показан весь процесс преобразования левого и правого изображений на пути от кинокадров до глаз. Рисунок наглядно показывает, что в случае круговой поляризации при наклоне очков разделение левого и правого изображений не нарушается (рис. 1а), а в случае линейной поляризации наблюдаются оба отмеченных выше вида изменений физических сигналов, поступающих в левый и правый глаз (рис. 1б). Действительно, работа системы рассчитана на точное соответствие направления поляризации света в экранном изображении характеристикам пропускания фильтров при нормальной ориентации головы. При отклонении головы от вертика-

ли на угол ψ , во-первых, пропорционально $\cos \psi$ уменьшается составляющая вектора поляризации света, соответствующая направлению пропускания данного очкового фильтра, и, во-вторых, появляется пропорциональная $\sin \psi$ составляющая, которая соответствует направлению парного ортогонального очкового фильтра. В результате снижается яркость сетчаточных изображений, адресованных каждому глазу, и в обоих глазах наблюдается смешение сигналов (crosstalk), соответствующих левому и правому изображениям, так как на «свое» изображение накладывается помеха, обусловленная частичным пропусканием «чужого» изображения. При наклоне головы на 45° , представленном на рис. 1б, происходит полное смешение, и изображения на сетчатках левого и правого глаза становятся неразличимыми, так как амплитуда сигнала от «своего» экранного изображения и амплитуда помехи, поступающей из второго канала, делаются равными в обоих глазах. Следует отметить, что описанные эффекты определяются только ориентацией очков относительно экрана, т.е. именно поворотом головы. Как было показано во многих работах, поворот глаз не вполне соответствует наклону головы – глаза обычно несколько повернуты в обратную сторону [8, 11, 14 и др.], но на качестве изображений в глазах это никак не отражается: противоположный поворот глаз влияет лишь на ориентацию сетчаточных изображений.

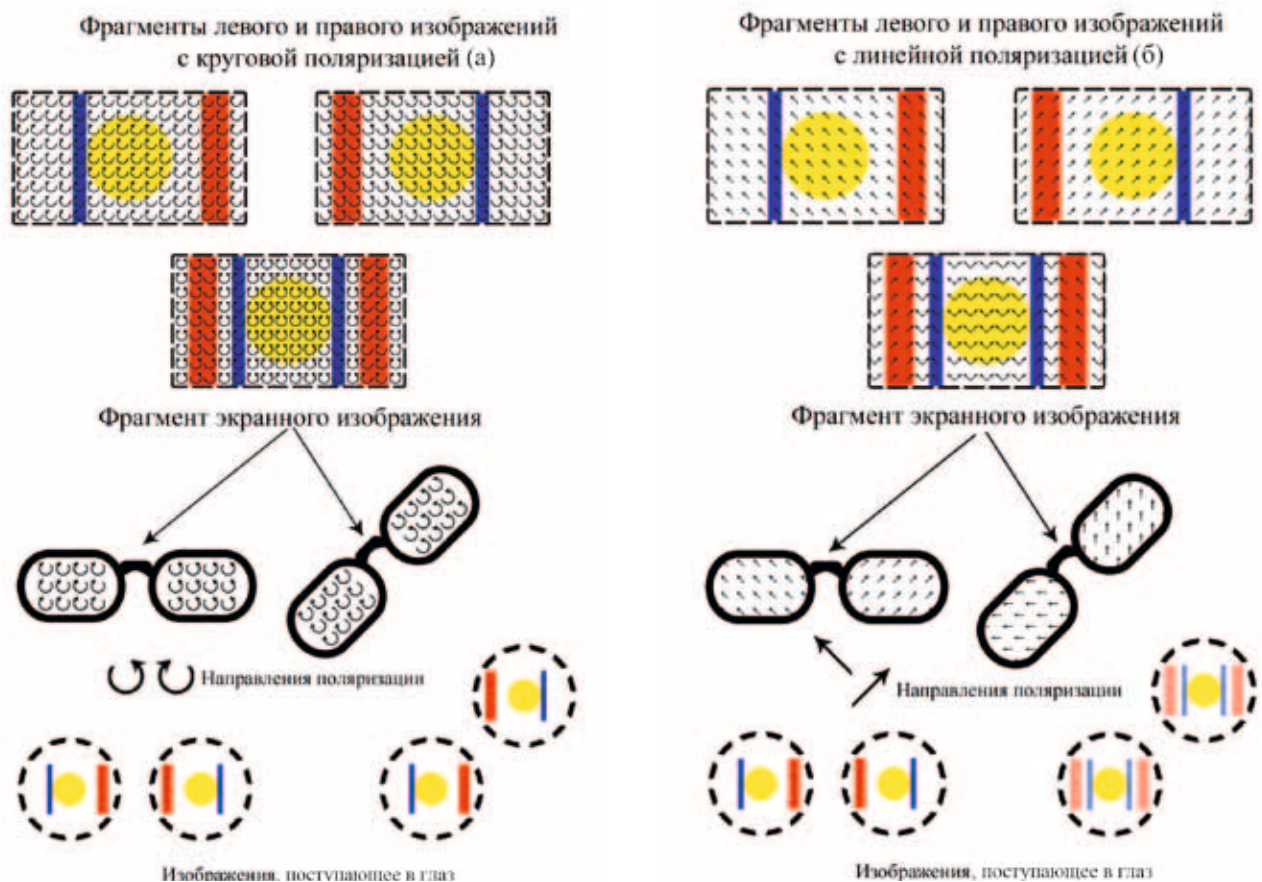


Рис. 1. Схемы прохождения поляризованного света от изображений на экране к сетчаткам глаз через очки зрителя при наклоне головы для систем сепарации, основанных на круговой (а) и линейной (б) поляризации света

В связи с указанными недостатками систем сепарации изображений, основанных на линейной поляризации света, они в настоящее время постепенно выходят из употребления. Аналогичными недостатками обладают и растровые системы, но они сохраняют свои позиции, так как имеют очень важное преимущество перед всеми прочими стереосистемами – не требуют очков. Изменения, к которым приводит наклон головы зрителя в случае растровых систем, удобно проанализировать на примере телевизионного растрового стереозащита с вертикальными цилиндрическими линзовыми элементами. Эти системы рассчитаны на раздельное наблюдение левым и правым глазом изображений стереопары из вертикальных зон стереовидения, сформированных растром из совокупностей фокальных зон для левого и правого глаза [5]. Очевидно, что при наклоне головы на 90° оба глаза попадут в одну вертикальную зону и будут видеть одинаковые изображения, а в промежуточных положениях головы будет наблюдаться взаимное проникновение левого и правого изображений в парный глаз, нарастающее с увеличением угла отклонения головы от «правильного» положения.

Изменение геометрических взаимоотношений

Обратимся теперь к геометрическим следствиям наклона головы, введя подходящие системы координат на экране и на сетчатках. На экране естественно обозначить привычные ориентиры – горизонтальное и вертикальное направления, H и V , а на каждой сетчатке – так называемые главные меридианы, H_L , V_L , и H_R , V_R , которые также называются горизонтальным и вертикальным меридианами и определяются анатомией глаз (рис. 2а). По вертикальному меридиану сетчатки проходит граница между двумя её половинами (носовой и височной), от которых информация направляется в разные полушария головного мозга. При вертикальной ориентации головы главные меридианы примерно соответствуют сечениям каждой сетчатки горизонтальной и вертикальной плоскостями, проходящими через зрительную ось глаза, и в таком случае анатомические названия сетчаточных меридианов оправданы. При других позициях головы H_L , V_L , и H_R , V_R могут занимать самые разные позиции в гравитационном поле. Например, когда человек лежит на боку, вертикальный меридиан располагается в горизонтальной плоскости, а горизонтальный – в вертикальной плоскости. Когда же человек лежит на спине и смотрит в потолок, оба главных меридиональных сечения сетчатки ориентированы вертикально.

Поскольку экран, на котором демонстрируются стереоизображения, неподвижен по отношению к гравитационным координатам, при наклоне головы вследствие изменения позиции глаз всегда должно меняться положение проекций экранных изображений в сетчаточных координатах. Взаимоотношение экранных и сетчаточных координат при разных позициях головы показано на рис. 2б и 2в. Здесь в большем масштабе, чем на рис. 2а, изображено взаимное расположение экранных и сетчаточ-

ных координат в центральных зонах сетчаток при двух позициях головы – вертикальной и наклонной. В первом случае координатные оси экрана проецируются на соответствующие меридианы сетчаток, и горизонтальным экранным параллаксам соответствуют разности координат сопряжённых точек по горизонтальным меридианам сетчатки. Во втором случае проекции экранных ориентиров и главные сетчаточные меридианы оказываются повернутыми и смещёнными друг относительно друга.

Если для простоты принять, что при наклоне головы позиция оси одного глаза осталась неизменной, то в этом глазу будет иметь место лишь поворот сетчаточных меридианов на угол, соответствующий углу наклона головы (на рисунке это левый глаз). Заметим, что угол поворота меридианов именно *соответствует* углу наклона головы, *но не равен* ему из-за наличия компенсаторного поворота глаз, о котором упоминалось выше и который будет обсуждаться далее. В пределе, при наклоне головы до горизонтального положения, произойдёт почти полная трансформация горизонтальных экранных параллаксов в смещения проекций сопряжённых точек по вертикальным меридианам сетчаток, а при постепенном наклоне головы к плечу будет происходить уменьшение параллактических смещений по горизонтальным меридианам сетчатки и увеличение смещений по вертикальным меридианам.

В общем случае при наклоне головы, вдобавок к повороту проекций экранных координат относительно сетчаточных меридианов, будет наблюдаться и сдвиг начала координат в соответствии с опусканием или подъёмом глаза и его смещением вправо-влево по отношению к исходной позиции. На рис. 2 такие смещения показаны в правом глазу. Отметим, что при наклоне головы к плечу всегда имеет место сокращение проекции базиса зрения на горизонталь экрана.

Психофизиологические осложнения

Рассмотренное выше изменение взаимной ориентации экранных и сетчаточных координат является принципиально важным для функционирования мозговых механизмов бинокулярной системы стереовосприятия, так как зрительная система производит оценку глубины на основе разности координат по горизонтальным меридианам сетчаток. В связи с этим геометрическое уменьшение проекции параллактических смещений на горизонтальные меридианы при постепенном наклоне головы следует трактовать как уменьшение «полезных» сигналов, а появление и нарастание проекций на вертикальные меридианы – как мешающие сигналы.

Интересно отметить, что факт зависимости «полезной» составляющей экранного параллакса от угла наклона изображений по отношению к сетчаточным координатам не однажды использовался для оценки остроты стереозрения, измерение которой является проблематичным из-за малой величины пороговых параллактических смещений. Правда, в предложенных измерительных процедурах для изменения ориентации изображений на сетчатках исполь-

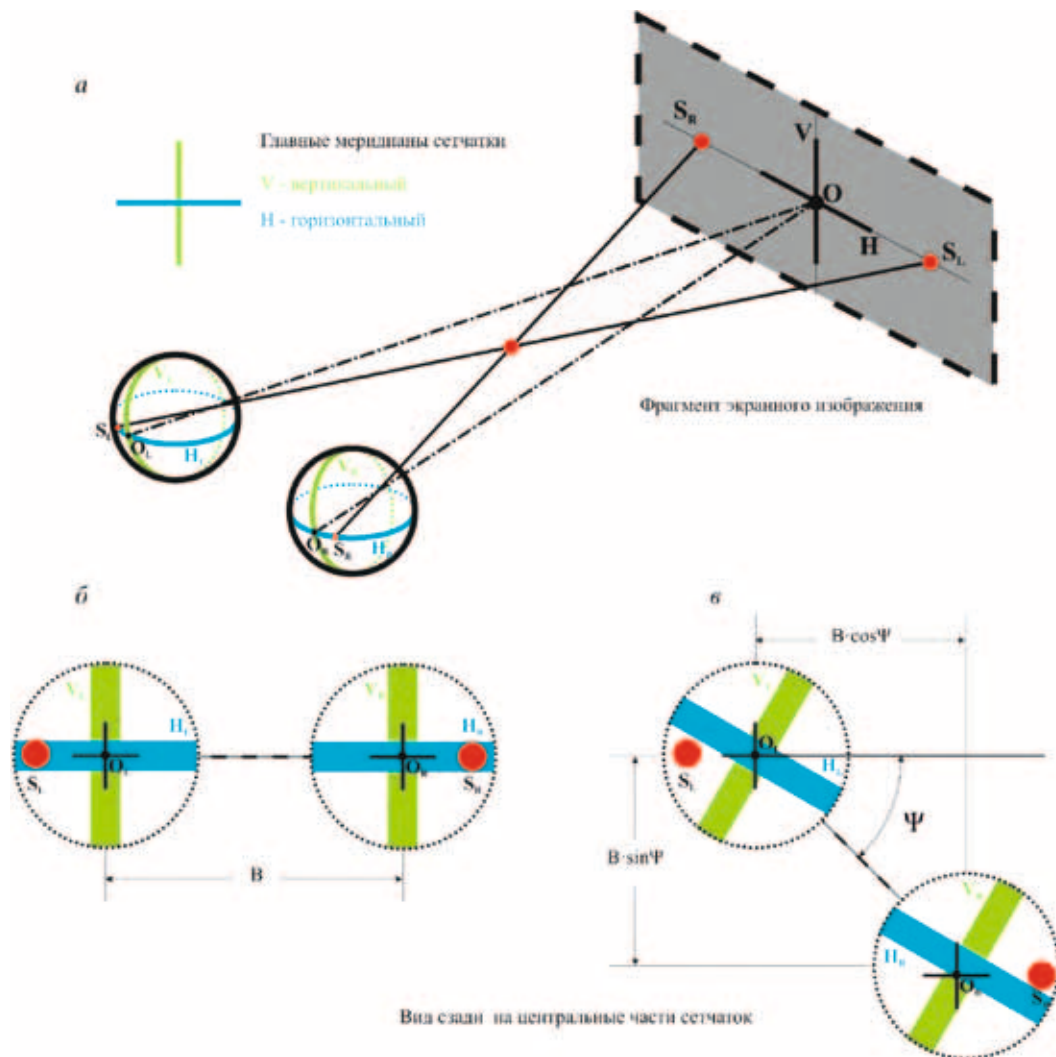


Рис. 2. Изменение геометрических взаимоотношений между координатными ориентирами экрана и сетчаток при наклоне головы

зовали не наклон головы, а повороты самих тестов. Так, в работе Осипова [4] для измерения стереоостроты зрения использовали случайно-точечные стереограммы с надпороговой диспаратностью, составляющей угловые минуты, но эти стереограммы поворачивали и постепенно уменьшали горизонтальную составляющую диспаратности до пороговых значений, измеряемых угловыми секундами. А в книге Кропмана [2] описан метод Монье (1948 год), который для получения малых значений горизонтальной диспаратности применял повороты композиции из трёх параллельных спиц, концы которых были скрыты экраном. В данном тест-объекте средняя спица была смещена относительно двух других на фиксированное расстояние по глубине, но при горизонтальной ориентации спиц этого нельзя было заметить. При постепенном повороте тест-объекта имело место увеличение горизонтальной диспаратности средней спицы относительно соседних, и при некотором критическом угле поворота человек замечал различия по глубине. В рассмотренном методе автор использовал в процессе измерений не уменьшение горизонтальной диспаратности от максимального значения (при вертикальной ориентации спиц), а нарас-

тание её от нулевого значения (при горизонтальной ориентации спиц) до порога. Это было обусловлено малым углом поворота от горизонтального положения – около 10° , которого было достаточно для появления видимой разницы по глубине. Соответственно, при вращении теста от вертикальной ориентации для исчезновения видимой разницы по глубине понадобился бы поворот примерно на 80° , что увеличило бы время измерений.

Несмотря на формальное сходство с проанализированным выше случаем перекрёстной помехи при наклоне очков, рассматриваемая ситуация с взаимным наклоном координатных осей экрана и сетчаток – принципиально иная. Осложнение зрительного анализа связано в этом случае не с проникновением сигнала из левого канала в правый (и наоборот) и ухудшением качества сетчаточных изображений, а с «неправильной» (не соответствующей имеющимся мозговым механизмам) ориентацией проекций экранных изображений в сетчаточных координатах обоих глаз. В данном случае никакого смешения левого и правого изображений нет, но есть разложение горизонтальных экранных параллакс по двум неравноценным сетчаточным направлениям.

Изображения стереопары, рассматриваемые зрителем при восприятии стереофильмов, обычно имитируют реальные или фантастические сцены, геометрия которых соответствует ежедневному опыту естественного восприятия. За исключением отдельных эпизодов и спецэффектов, показ в большинстве случаев производится в условиях сохранения ориентации сцен относительно гравитационной вертикали и, соответственно – при ориентации изображаемого горизонта вдоль горизонтальной оси экрана. Хорошо известно, что в таких условиях расположение объектов по глубине кодируется горизонтальными параллаксами – сдвигом соответствующих точек левого и правого изображений вдоль линий, параллельных горизонтальной оси экрана. Для создания единого образа на основе левого и правого изображений человек использует моторные и сенсорные компоненты фузии. Под моторными компонентами фузии понимают повороты глаз с целью изменения угла конвергенции для наведения осей обоих глаз на интересующий объект и его окружение. Под сенсорными компонентами понимают мозговые усилия, приводящие к формированию единого объёмного образа объекта на основе согласования порождаемого образа с его проекциями.

Человек наилучшим образом справляется с фузированием (слиянием мозгом в единый образ) сетчаточных изображений и построением пространственных образов, когда гравитационная вертикаль/горизонталь проецируется на вертикальные/горизонтальные меридианы обеих сетчаток.

Если при просмотре обычных стереокадров с опорой на горизонтальные параллаксы зритель наклоняет голову, условия восприятия ухудшаются. Об этом, в частности, свидетельствуют движения глаз, сопровождающие наклон головы: они направлены на то, чтобы удержать прежнюю ориентацию глаз в пространстве, т.е. по отношению к гравитационным ориентирам.

Компенсаторный торсионный противоположный поворот глаз

Хорошо известно, что при наклоне головы глаза не остаются неподвижными относительно неё, а совершают сложные торсионные движения (повороты вокруг собственной продольной оси), включающие саккады (скачки) и фазы фиксации взора [9, 12, 13], и в конечной позиции остаются частично повернутыми в орбитах в сторону, противоположную повороту головы. Величина этого компенсаторного противоположного поворота неоднократно измерялась разными методами на протяжении прошлого века [11]. Из недавних работ можно отметить работу Хамасаки с соавторами, в которой особенности противоположного поворота глаз исследовали как диагностический симптом [8], и работу Шворм а с соавторами, в которой сравнивали величину противоположного поворота в различных условиях восприятия [14]. Во второй работе в качестве вариантов использовали: бинокулярное наблюдение объекта в отсутствие пространственных ориентиров (фиксация двух жёлтых концентрических окружностей в полной

темноте), бинокулярное наблюдение картины с множеством пространственных ориентиров (фотографии старого замка) и монокулярное наблюдение той же картины. Результаты этих исследований, в целом, подтвердили имевшиеся ранее данные по величине компенсаторного поворота глаз: типичные значения находятся в интервале 10–20% от угла наклона головы. Было обнаружено, что эта относительная компенсация уменьшается с увеличением наклона, зависит от направления (вправо или влево) и демонстрирует значительную индивидуальную вариабельность. Наибольшее из приведённых в [14] значений составляло 27%, но авторы исследовали всего 5 испытуемых, так что вопрос об индивидуальных различиях нельзя считать исчерпанным. Существенной зависимости относительной компенсации от условий наблюдения обнаружено не было – значит, противоположное повороту глаз при наклоне головы определяется не столько зрительными, сколько позиционными сигналами.

Главное назначение компенсаторных поворотов, как и других глазодвигательных реакций, – обеспечение наилучших условий для работы мозговых механизмов пространственного анализа и константности пространственного восприятия, независимо от позы человека в гравитационном поле [9, 13]. Хорошо известно, что все зрительные механизмы человека, связанные с узнаванием и пространственным анализом, оптимально работают в наиболее привычных условиях. В бодрствующем состоянии у большинства людей обычная ориентация головы – вертикальная, и положение глаз в орбитах нормальное, когда плоскости вертикальных меридианов сетчатки ориентированы по гравитационной вертикали. При наклоне головы зрительная система пытается хотя бы в какой-то мере сохранить оптимальную ориентацию глаз, что приводит к наличию компенсаторного противоположного поворота.

Повороты глаз для нейтрализации относительного смещения проекций экранных изображений на двух сетчатках

Для комфортности восприятия необходимо устранить относительные смещения двух сетчаточных проекций экранных изображений стереопары путём соответствующих поворотов глаз. Компенсация относительных горизонтальных смещений не должна вызывать трудностей, поскольку она обеспечивается обычными фузионными вергентными движениями. Заметим, что смещение глаз по горизонтали из-за поворота головы к плечу эквивалентно эффективному уменьшению базиса стереосистемы, т.е. при тех же экранных параллаксах должно приводить к увеличению воспринимаемой глубины, зависящему от величины и знака параллакса [1]. Это обстоятельство может несколько ослаблять отрицательное влияние наклона головы на воспринимаемую глубину.

Взаимное смещение левого и правого изображений по вертикали в сетчаточных координатах, т.е. появление вертикальной сетчаточной диспаратности, должно компенсироваться поворотами глаз, аналогичными тем, ко-

торые совершаются при появлении паразитных вертикальных экранных параллаксов (как известно, расхождение левого и правого изображений по вертикали нередко возникает из-за неполадок проецирующей аппаратуры). Вертикальные диспаратности, появляющиеся при наклонах головы, существенно зависят от условий наблюдения. В кинозалах они находятся в пределах значений, с которыми бинокулярная зрительная система вполне может справиться. Действительно, например, при наклоне головы на 45° при стандартном базисе 65 мм глаза разойдутся по вертикали примерно на 45 мм, что при расстоянии до экрана 10 м будет соответствовать 15', а приемлемыми считаются значения до 20' [5]. Однако при уменьшении расстояния наблюдения обсуждаемые вертикальные диспаратности увеличиваются и могут создавать проблемы.

Возможность устранения дискомфорта от наклона головы путём тренировки

Хотя мы и подчёркиваем серьёзность осложнений восприятия стереоскопических изображений при наклоне головы, возможно, они не являются неустранимыми. Хорошо известна потрясающая пластичность зрительных механизмов. Начиная с опытов Страттона, продемонстрировавшего возможность успешного привыкания человека к очкам, переворачивающим сетчаточные изображения на 180° [15], и работ Келлера с сотрудниками, творчески развивавших это экспериментальное направление [10], были исследованы удивительные возможности приспособления человека к самым различным искусственным трансформациям сетчаточных изображений – искажениям формы, изменениям ориентации и цвета [3]. Примечательно, что на адаптацию обычно требовалось не слишком много времени – от нескольких дней до двух-трёх недель. Логично предположить, что адаптация к естественным трансформациям сетчаточных изображений, имеющим место при наклонах головы, будет протекать ещё быстрее и успешнее. Таким образом, при желании смотреть стереокино в домашнем кинотеатре полулежа, по-видимому, можно адаптировать зрительные механизмы к соответствующим условиям восприятия не слишком длительными тренировками. Однако следует помнить, что существенным условием успешности и быстроты тех адаптационных перестроек, которые были описаны в литературе, является активное поведение субъекта для корректировки работы перестраиваемых механизмов на основе обратной связи. При восприятии стереофильмов активное поведение исключается, что может затянуть процесс адаптации.

Заключение

1. Ухудшение качества сетчаточных изображений и коэффициента сепарации из-за наклона головы к плечу имеет место только при использовании методов сепарации изображений стереопары, базирующихся на линейной поляризации света, и растровых систем.

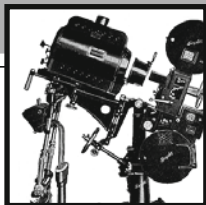
2. Наклон головы приводит к осложнениям психофизиологического процесса восприятия стереоскопических изображений и определённому дискомфорту при любой 3D-технологии независимо от метода сепарации изображений стереопары.

3. Зрительный дискомфорт и трудности восприятия стереоскопических изображений, возникающие при умеренном наклоне головы, с большой вероятностью можно устранить или ослабить путём тренировки.

4. Экспериментальные данные по влиянию наклона головы на восприятие стереоизображений, полученные совместно с Е.Н. Крутцовой и Н.П. Забалуевой, будут приведены в отдельной работе. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильева Н.Н., Рожкова Г.И. Особенности бинокулярного зрения детей в разном возрасте и необходимость их учёта при создании детских стереофильмов // МТК, № 16, с. 19–24, 2010.
2. Кропман И.Л. Физиология бинокулярного зрения и расстройства его при содружественном косоглазии. Л., с. 206, 1966.
3. Логвиненко А.Д., Жедунова Л.Г. Адаптация к оптическим трансформациям сетчаточного изображения // Вопросы психологии № 5, с. 149–161, 1980.
4. Осипов Г.И. Офтальмоэргонимические аспекты стереоскопического зрения: автореферат диссертации доктора медицинских наук: 14.00.08 // Москва, с. 32, 1995.
5. Рожков С.Н., Овсянникова Н.А. Стереоскопия в кино-, фото- и видеотехнике. Терминологический словарь. М.: Парадиз, с. 136, 2003.
6. Bando T., Iijima A., Yano S. Visual fatigue caused by stereoscopic images and the search for the requirement to prevent them: a review, Displays, 2011.
7. Frank L. Kooi, Toet A. Visual comfort of binocular and 3D displays. Displays, Vol. 25. № 2–3, p. 99–108, 2004.
8. Hamasaki I., Hasebe S., Furuse T., Ohtsuki H. Relationship between static ocular counterroll and Bielschowsky head tilt phenomenon // IOVS. Vol. 51, № 1, p. 201–206, 2010.
9. Howard I.P. Human Visual Orientation. New York: John Wiley & Sons, 1982.
10. Kohler I. Über Aufbau und Wandlungen der Wahrnehmungswelt, insbesondere über «bedingte» Empfindungen. Vienna: Rohrer, s. 118, 1951.
11. Miller E.F. Counterrolling of the human eyes produced by head-tilt with respect to gravity // Acta Otolaryngol. Vol. 54, p. 479–501, 1962.
12. Pansell T., Ygge J., Schworm H.D. Conjugacy of torsional eye movements in response to a head-tilt paradigm // IOVS. Vol. 44, p. 2557–2564, 2003.
13. Petrov A.P., Zenkin G.M. Torsional eye movements and constancy of the visual field // Vision Res. Vol. 13, p. 2465–2477, 1973.
14. Schworm H.D., Ygge J., Pansell T., Lennerstrand G. Assessment of ocular counterrolling during head-tilt using binocular video oculography // IOVS. Vol. 43, p. 662–667, 2002. Stratton G.M. Upright vision and the retinal image // Psychol. Rev. Vol. 4, p. 182–187, 1897.
15. Stratton G.M. Upright vision and the retinal image // Psychol. Rev. Vol. 4, p. 182–187, 1897.
16. Tam W.J., Speranza F., Yano S., Shimono K., Ono H. Stereoscopic 3D-TV: Visual comfort. IEEE Trans. Broadcast. 2011. Vol. 57. № 2. p. 335–346.



ЦИФРОВОЙ СИНТЕЗ МНОГОРАКУРСНЫХ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ для безочковой растровой демонстрации

В.А. Елхов, д.т.н.,
Н.В. Кондратьев,
Ю.Н. Овечкис, д.т.н.,
Л.В. Паутова, к.т.н.
ОАО «НИКФИ»



Аннотация

Рассмотрены методики, алгоритмы и программные решения формирования и показа динамических стереоскопических многокурсовых изображений для цифровой безочковой растровой демонстрации. Учитываются особенности построения предложенной авторами модульной системы показа. Приведены данные о новой 6-ти модульной проекционной системе с экраном шириной 2,4 м.

Ключевые слова: цифровой синтез, информационный процесс, стереоизображение, многокурсовое изображение, безочковый стереопоказ, параллакс-панорамограмма, стереосъемка, параллакс, линзовый растр.

В последнее время во всём мире значительно усилился интерес разработчиков к проблемам создания систем записи и воспроизведения объёмных изображений. При этом основные успехи достигнуты на пути применения очковых систем. Несмотря на относительную простоту реализации таких систем, минимальную информационную избыточность, высокое качество изображения, необходимость использования очков накладывает определённые ограничения.

Реальной альтернативой очковым методам является использование растровых систем. Эти методы актив-

DIGITAL SYNTHESIS OF MULTIVIEWING STEREOSCOPIC IMAGES FOR AUTOSTEREOSCOPIC RASTER DEMONSTRATION.

V.A. Elkhov, N.V. Kondratiev, Yu.N. Ovechkis, L.V. Pautova

Abstract

Methods, algorithms and software solutions of formation and display of dynamic stereoscopic multiview images for digital autostereoscopic raster demonstration are considered. The features of building of the modular display system proposed by the authors are taken into account. The data about the new 6- modular projection system with a screen of 2.4 m in the width are presented.

Keywords: digital synthesis, information process, stereo image, multi viewing image, glassless stereo display, parallax-panoramogramma, stereo shooting, parallax, lenticular raster.

но развивались в 40-х – 50-х годах прошлого столетия. В эти годы в Москве даже работал безочковый стереокинотеатр по системе С.П. Иванова.

Относительно недавно появились растровые безочковые стереоскопические телевизоры, впервые разработанные фирмой Philips [1]. Они реализованы на базе жидкокристаллических или плазменных панелей, перед которыми установлен растр, декодирующий информацию об объёмных свойствах записанного изображения. Повышенное число ракурсов в этих устройствах приводит к пропорциональному уменьшению количества ин-

формации в одном ракурсе наблюдаемого изображения. Кроме того, размеры таких систем ограничены размером ЖК или плазменной панели

Повысить число элементов в каждом ракурсе, а так же увеличить общие размеры демонстрируемого изображения можно путём использования предложенной и разработанной авторами модульной проекционной растровой системы [2–5]. Она основана на мультиплицировании каналов, в каждом из которых формируется соответствующий фрагмент объёмного изображения. Эти фрагменты совмещаются на едином проекционном растровом экране. Применение цифровых методов синтеза объёмных изображений и их проекции обеспечивает практическую реализацию такой системы.

Данная работа посвящена описанию разработанных алгоритмов и программных решений формирования и показа динамических стереоскопических многокурсных изображений для цифровой безочковой растровой демонстрации.

Обобщённый информационный процесс преобразования набора плоских изображений в объёмное (3D) изображение представлен на рис. 1.

Процесс включает следующие этапы:

1. Получение исходной многокурсной информации известными средствами.
2. Синтез кодированного фильма.
3. Разделение полученного фильма на n фрагментов.
4. Размещение этих фрагментов на компьютерах.
5. Показ в системе, осуществляющийся одновременным запуском всех проигрывателей с основного компью-

тера и синхронизацию фрагментов в процессе демонстрации.

Одним из способов получения многокурсной информации является компьютерный синтез разноракурсных фильмов. Алгоритм создания таких фильмов включает в себя следующую последовательность операций:

1. Определение допустимых геометрических параметров синтезируемой сцены.
2. Определение формата фильмов.
3. Создание виртуальной сцены и расстановка камер.
4. Рендеринг разноракурсных фильмов.
5. Объединение полученных фильмов в единый параллакс-панорамограммный фильм.
6. Разбивка фильма на фрагменты.

Другим способом получения такой многокурсной информации является непосредственная одновременная либо последовательная съёмка объекта с различных точек зрения.

Каким бы методом ни получалось изображение, необходимо определить исходные требования к первичной информации о ракурсах, т.е. правильно выбрать глубину сцены, расстояние между камерами, их фокусные расстояния и т.д. Эти вопросы рассматривались нами в предыдущих работах [6, 7], в которых приводятся зависимости, определяющие исходные параметры для обеспечения комфортного восприятия объёмного изображения с учётом особенностей построения проекционной системы.

Полученную информацию о пространстве в виде совокупности «плоских» разноракурсных фильмов, необходимо закодировать в единое двумерное изображение,

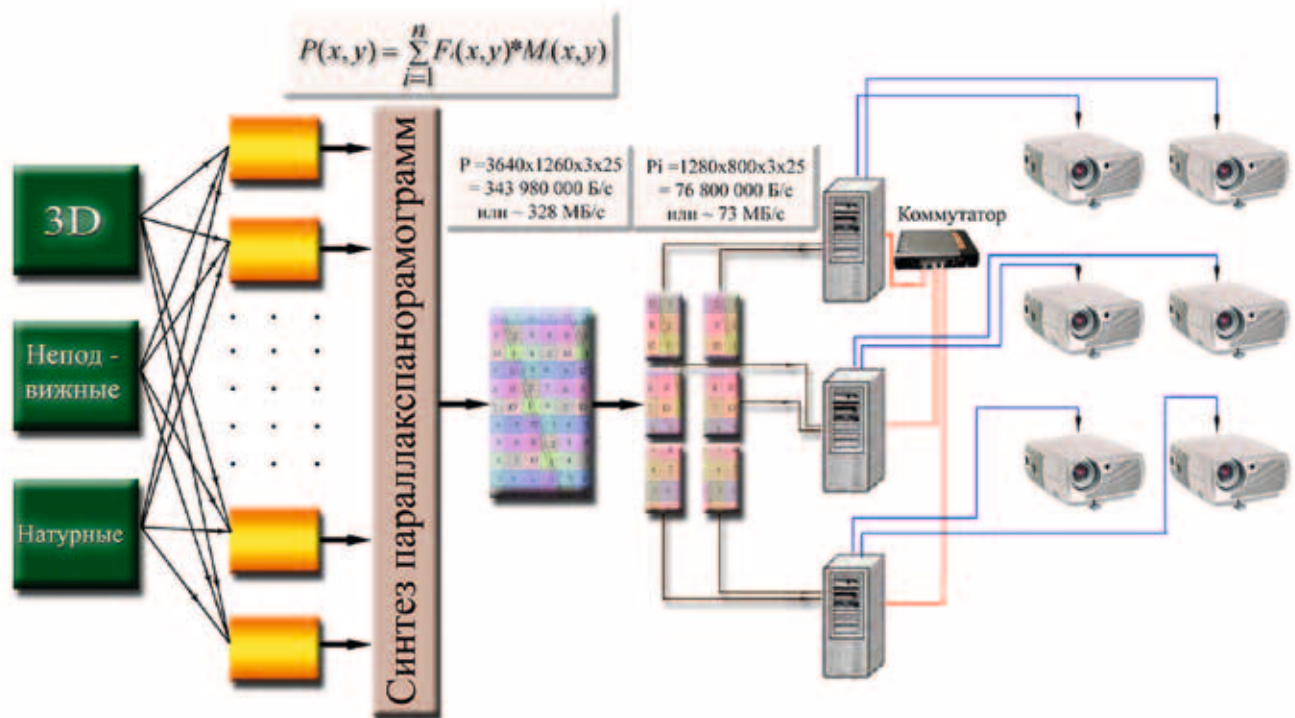


Рис. 1. Обобщённый информационный процесс преобразования плоских изображений в объёмное

таким образом, чтобы декодирующее устройство – растровый экран, могло правильно его восстановить.

Известен метод объединения разных частей разных изображений с целью последующего получения единого двумерного результирующего изображения с помощью масок прозрачности или альфа-канала. Термин альфа-канал впервые введён в оборот Алви Смитом в конце

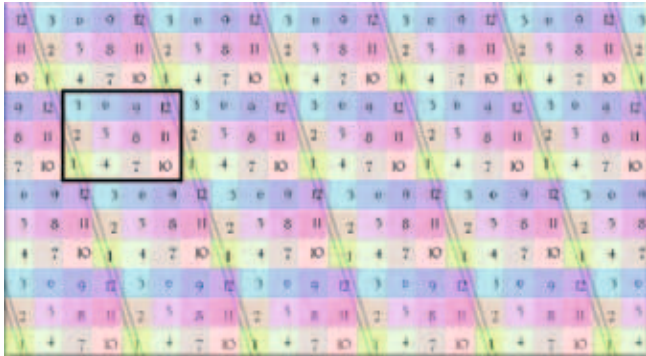


Рис. 2. Пиксельная структура участка 12 ракурсного фильма, проецируемого на экран с наклонным растром

1970-х и детально проработан в статье Томаса Портера и Тома Даффа 1984 года [8].

Пиксельная структура участка 12 ракурсного фильма, проецируемого на экран с наклонным растром, представляет следующую картину (Рис.2). Здесь цифры, стоящие на пикселях обозначают номер ракурса, информация о котором отображается данным пикселем. Кодированная таким образом параллакспанорамограмма будет декодироваться растром так, что первый ракурс будет самым правым при демонстрации. При смещении влево в глаз будет попадать в следующий ракурс до тех пор, пока не встретится первый. Здесь начинается следующая зона наблюдения. Таким образом, растр производит распределение закодированной информации по углу, восстанавливая информацию об объёмных свойствах снятой сцены.

Маски прозрачности для синтеза необходимой параллакспанорамограммы представляют собой чёрно-белое изображение имеющее разрешение, равное разрешению фильма. В ней чёрному пикселю изображения маски прозрачности соответствует значение 0, а белому – 1. Маска для первого ракурса выглядит таким образом (Рис. 3). Следующую маску синтезируют из первой путём смещения её на 1 пиксель вверх и т.д. После умножения изображений ракурсов на соответствующие маски и суммирования результатов, получается необходимая параллакспанорамограмма. Маски создавались с помощью разработанной программы генератора масок, в которой реализован алгоритм создания масок для контента, имеющего произвольное количество ракурсов (Рис. 4).

Полученное сложное изображение не поддаётся традиционному сжатию изображений с потерей качества, так как при этом искажается структура параллакспанорамо-

граммы и, как следствие, теряется информация об объёме, закодированная в фильме.

Невозможность сжатия приводит к тому, что суммарный поток информации при демонстрации фильма получается весьма большой. В модульный принцип эта проблема решается путём разбиения полноэкранный фильм на фрагменты. Чтение происходит с чередующих-



Рис. 3. Маска прозрачности для первого ракурса

ся RAID массивов, размещённых на серверных компьютерах. При этом для каждого фрагмента необходим отдельный такой RAID 0 массив дисков.

Разделение фильмов на фрагменты осуществляется с учётом пересечения краевых частей фрагментов для обеспечения бесшовного показа единого изображения.

Компьютеры объединены в локальную сеть с помощью коммутатора с присвоением каждому компьютеру своего IP адреса.



Рис. 4. Блок-схема алгоритма создания масок прозрачности

Для демонстрации многомодульного контента был разработан проигрыватель с применением инструкций директшоу и клиент-серверной технологии с TCP/IP протоколом. Особенности проигрывателя состоят в том, что он позволяет одновременно воспроизводить несколько фильмов в разных окнах с синхро-

низацией потоков внутри одного компьютера. Смещение окон с фильмами по экрану по разным законам позволяет производить как пространственное совмещение фрагментов, так и стыковку зон наблюдения. Проигрыватель состоит из двух частей – клиентской или управляющей, размещённой на главном компьютере и серверных – управляемых, размещённых на остальных компьютерах. Клиентская часть проигрывателя синхронно запускает фильмы на компьютерах серверах и производит синхронизацию всех компьютеров в процессе показа.

Описанные выше положения и алгоритмы были использованы для синтеза параллакспанораграммного фильма для безочкового просмотра многоракурсного стереоскопического динамического изображения на растровом экране в модульной проекционной системе. При этом в отличие от предыдущих работ нами была разработана и создана 6-ти модульная система с экраном 2,4x0,9 кв. м. (Рис. 5).

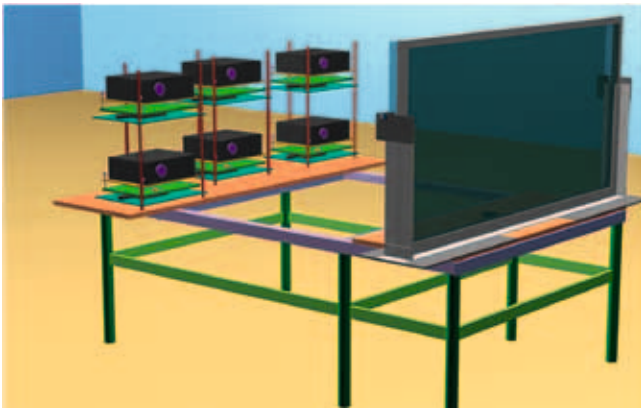


Рис. 5. 6-ти модульная проекционная автостереоскопическая система с растровым экраном



Рис. 6. Фрагмент демонстрационного фильма на экране 6-ти модульной проекционной системы

Для этой системы был создан 3-х минутный демонстрационный цифровой фильм, состоящий из кукольной анимации, синтезированных на компьютере в формате 3DMax фрагментов и натуральных съёмок (Рис. 6). Глубина объёмного изображения для динамических объек-

тов с приемлемым качеством составила до 1 м в предэкранном пространстве и более 1 м в заэкранном пространстве.

Изображение, подающееся на проекторы, представляет собой синтез 12 ракурсов, сформированных таким образом, что в каждую группу пикселей размером 4x3 попадает по одному пикселю из каждого ракурса.

Для показа 12-ти ракурсного фильма на экран размером 2400 x 900 мм, оснащённого растром 10 линз на дюйм, его разрешение должно быть не менее 3640 x 1260. Несжатый фильм с разрешением 3640 x 1260 имеет поток, равный $3640 \times 1260 \times 3 \times 25 = 328$ Мбайт/сек. Минимальная скорость чтения жёсткого диска равна 35 Мбайт/сек. Для воспроизведения такого фильма его надо воспроизводить не менее чем с $328 / 35 = 9$ дисков одновременно. В нашей системе используется 3 компьютера по два видеоканала в каждом. Для этого фильм разбивается по площади на 6 фрагментов (три



Рис. 7. Разбиение фильма на фрагменты с перекрытием

группы по два фрагмента) (Рис. 7). Из этого следует, что на каждом компьютере должно стоять 4 диска, а именно, по два диска соединённых в RAID 0 на канал (минимальная скорость чтения ~ 70 Мбайт/с).

Для синхронизации всех 6 частей фильма компьютеры объединены в сеть, позволяющую одновременно запускать проигрыватели на всех компьютерах и синхронизировать их работу в течение времени показа фильма. При этом синхронизация фрагментов фильма, расположенных на одном компьютере, осуществляется проигрывателем, который запускает одновременно все фрагменты фильма находящиеся на данном компьютере.

Для синхронного показа шестиканального фильма использована Ethernet технология. В качестве физического устройства соединения компьютеров используется неуправляемый коммутатор 10/100 Мбит/с D-Link DES-1005D (Рис.8), снабжённый 5-ю портами 10/100 Мбит/с, позволяющими подключаться к сетям Ethernet и Fast Ethernet. Компьютерам присваивались локальные IP адреса. Первому компьютеру – 192.168.1.0, второму – 192.168.1.1 и, соответственно третьему 192.168.1.2.

Проигрыватели запрограммированы таким образом, что один проигрыватель работает в качестве клиента, а остальные в качестве серверов. При этом проигрыватель, работающий в режиме клиента, производит все манипуляции по показу фильма: запускает или останавливает фильм, следит, какой кадр показывается в данный



Рис. 8. Подключение трёх компьютеров коммутатором D-Link DES-1005D

момент времени, перематывает фильм в нужный для показа участок и т.д. Через определённое время он отдаёт команду серверам установить на своих экранах кадр, который в этот момент показывается на клиентском экране проигрывателя, работающего в режиме клиента. Таким образом осуществляется синхронизация компьютеров. Время, через которое передаются сигналы синхронизации, выбрано 10 секунд.

При запуске проигрыватель, работающий в режиме клиента, определяет IP адреса, существующие в компьютере, автоматически выбирает сетевой адрес по первой триаде IP адреса, устанавливает необходимое количество портов передачи информации. По этим портам передаётся служебная и синхронизирующая информация. При первом запуске необходимо вручную записать значения IP адресов других компьютеров, которые участвуют в показе фильма.

Порты, сформированные проигрывателем, прослушиваются серверами, которые исполняют соответствующие действия. Команды клиента кодируются и передаются для серверов в виде текстовых сообщений. Проигрыватель, работающий в режиме клиента, позволяет подстраивать положение и размер фрагментов на экране для более правильного их воспроизведения. После настройки все изменения запоминаются для последующего использования этих настроек.

При запуске проигрывателя, работающего в режиме сервера, также определяются IP адреса, существующие в компьютере, и выбирается нужный сетевой адрес (можно установить вручную), устанавливаются порты, по которым принимается служебная и синхронизирующая информация в виде текстовых сообщений. Эти сообщения обрабатываются для принятия решений сервером: какие фрагменты загружать для проигрывания, какой кадр установить при показе, в данный момент идёт проигрывание или плеер установлен в режим паузы и так далее. Проигрыватели также позволяют подстраивать положение и размер фрагментов на экране для более правильного их воспроизведения. После настройки все изменения запоминаются для последующего использования.

Испытания проекционной системы подтвердили работоспособность разработанных методик и алгоритмов и достоверность заложенных в них принципов.

Выводы:

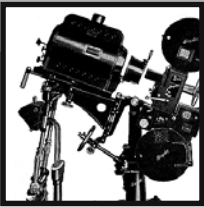
1. Разработана методика и алгоритмы создания параллакс-панорамограммного фильма с различными объектами съёмки: синтезированными, анимационными и натурными, предназначенного для работы в безочковой модульной системе показа объёмных киноизображений.

2. Разработан и изготовлен специализированный сервер, формирующий несжатые потоки видеoinформации для проекционной системы, на базе IBM совместимых трёх персональных компьютеров, сопряжённых с видеопроекторами, а один из которых помимо этого является управляющим.

3. Разработана и изготовлена шестимодульная проекционная система с экраном 2,4 м по ширине, с числом зрительских мест – 20, на которой показан демонстрационный фильм, включающий компьютерную и кукольную анимацию и натурные съёмки. ■

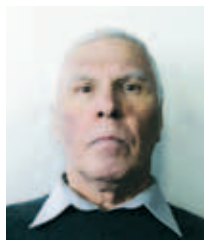
ЛИТЕРАТУРА

1. *C. van Berkel, Clarke J.* Autostereoscopic display apparatus. US Pat. No. 6,064,424, May 2000.
2. *Елхов В.А., Кондратьев Н.В., Овечкис Ю.Н., Паутова Л.В.* Устройство для демонстрации растрового стереоскопического изображения с высоким разрешением. 2010 Патент на изобретение № 2391689
3. *Victor A. Elkhov, Nikolai V. Kodratiev, Yuri N. Ovechkis, Larisa V. Pautova, A Modular Projection Autostereoscopic System for Stereo Cinema.* «Stereoscopic Displays and Applications XX». 19 – 21 January 2009, San Jose, California, US, SPIE Vol. 7237, pp. 72370D-1 – 72370D-11.
4. *Елхов В.А., Кондратьев Н.В., Овечкис Ю.Н., Паутова Л.В.* Безочковая система показа объёмных многокурсных киноизображений. // Мир техники кино. – 2009. – № 11. – С. 2–7.
5. *Елхов В.А., Кондратьев Н.В., Овечкис Ю.Н., Паутова Л.В.* Безочковая система показа объёмных многокурсных изображений. // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: Научно-техническая конференция, Москва, 23–24 апреля 2009 г. Материалы и доклады. – М., МКБК, 2009. – 216 с. – С. 27–41.
6. *Елхов В.А., Кондратьев Н.В., Овечкис Ю.Н., Паутова Л.В.* Особенности формирования объёмного изображения в цифровом стереоскопическом кинематографе. // Мир техники кино. – 2011. – № 2. – С. 4–8.
7. *Елхов В.А., Кондратьев Н.В., Овечкис Ю.Н., Паутова Л.В.* Геометрия воспроизводимого пространства в системе показа многокурсных стереоскопических изображений. // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других областях: Вторая научно-техническая конференция, Москва, 22–23 апреля 2010 г. Материалы и доклады. – М., МКБК, 2010. – 223 с. – С. 182–192.
8. *Thomas Porter and Tom Duff,* Compositing Digital Images, Computer Graphics, 18(3), July 1984, 253–259.



РАЗРАБОТКА ТЕСТОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ для контроля качества цифрового кинопоказа

А.С. Блохин, к.т.н.,
МКВИ



(Окончание. Начало в МТК № 23 (1))

■ 2. Тест-изображения для инструментального контроля качества экранного изображения

2.1. Контроль яркости изображения и равномерности яркости по полю изображения

Инструментальный контроль параметров экранного изображения производится в двух условиях:

- в специальной просмотровой комнате;
- в кинозале.

Для контроля равномерности яркости по полю изображения используется тестовое изображение белого поля ($X' = 3794$, $Y' = 3960$, $Z' = 3890$).

Яркость измеряется специальным яркомером (фотометр-яркомер типа АРГУС-02) в девяти точках изображения на экране.

Значение яркости вычисляется как среднее арифметическое из девяти измерений в соответствующих точках экрана.

Среднее арифметическое значение яркости должно составлять $(48 \pm 2,4)$ кд/м² для просмотровой комнаты и $(48 \pm 10,2)$ кд/м² для кинозала.

Яркость изображения белого поля в углах изображения не должна быть менее 80–90% от яркости изображения в центре для просмотровой комнаты и менее 75–90% – в кинозале.

2.2. Контроль последовательного контраста изображения

Последовательный контраст изображения измеряется как отношение яркости белого поля к яркости чёрно-

го поля. Величина последовательного контраста должна составлять не менее 1500:1 для просмотровой комнаты и не менее 1200:1 для кинозала.

Яркость от внешних засветок в центре экрана должна быть менее 0,03 кд/м². Эта яркость измеряется при выключенном проекторе или с выключенной лампой проектора.

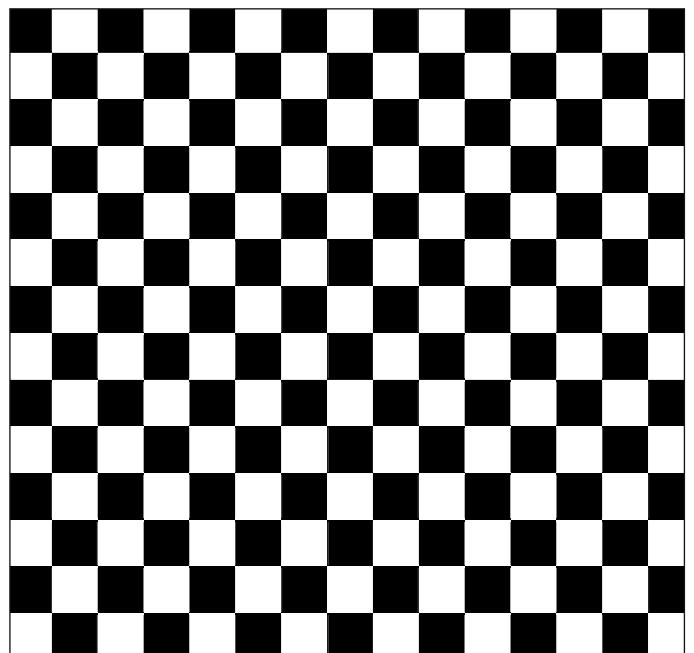


Рис. 6. Тест-изображение «шахматное поле»

2.3. Контроль внутрикадрового контраста изображения

Внутрикадровый контраст изображения измеряется на тест-изображении «шахматное поле» (рис. 6).

Измеряется яркость каждого чёрного и каждого белого поля в испытательном изображении шахматного поля. Контраст вычисляется как отношение суммы яркостей белых полей к сумме яркостей чёрных полей.

Вычисленное значение внутрикадрового контраста должно составлять $\geq 100:1$ для просмотровой комнаты и для кинозала.

Вычисленное значение контраста снижается при учёте рассеянного света из объектива проектора и окружающих внешних засветок непосредственно из аппаратной.

2.4. Контроль остаточного светового потока

Специфические особенности конструкции цифровых проекторов, в отличие от плёночных проекторов, обуславливают присутствие некоторого количества света, попадающего на экран при подаче на терминал проектора сигнала «чёрное поле». Это явление называется остаточным световым потоком. Наличие остаточного светового потока приводит к снижению внутрикадрового контраста изображения, что, в свою очередь, обуславливает потерю деталей изображения в тёмных сценах.

Для получения высокого контраста в тёмных сценах необходима строгая регламентация величины остаточного светового потока цифрового проектора. По имеющимся экспериментальным данным, эта величина должна соответствовать максимальному уровню засветки экрана – не более $0,03 \text{ кд/м}^2$ в любой точке экрана.

2.5. Контроль пиковой яркости белого поля

Используя испытательный сигнал белого поля ($X' = 3794$, $Y' = 3960$, $Z' = 3890$), регулируется пиковая яркость белого поля, измеряемая в центре экрана, до значения $48 \text{ кд/м}^2 \pm 2,4 \text{ кд/м}^2$ для испытательной комнаты и $48 \text{ кд/м}^2 \pm 10,2 \text{ кд/м}^2$ – для кинозала.

2.6. Контроль однородности яркости по полю изображения

Используя тест-сигнал белого поля ($X' = 3794$, $Y' = 3960$, $Z' = 3890$), производится измерение яркости в центре и в углах изображения в соответствии с рекомендациями SMPTE 196E. Взвешенная яркость углов и сторон в 3×3 сетки должна составлять не менее 75% от яркости центра.

2.7. Контроль координат белого поля

Используя испытательный сигнал белого поля ($X' = 3794$, $Y' = 3960$, $Z' = 3890$), производится измерение координат цветности центра экрана спектрофотометром.

2.8. Контроль цветовой однородности белой области

Используя испытательный сигнал белого поля ($X' = 3794$, $Y' = 3960$, $Z' = 3890$), измеряют координаты

Табл. 4. Цветовые координаты эталонных цветных полос

Цветность полос	x	y	Y, кд/м ²
Красный	0,6800	0,3200	10,06
Зелёный	0,2650	0,6900	34,64
Синий	0,1500	0,0600	3,31
Голубой	0,2048	0,3602	37,94
Пурпурный	0,3424	0,1544	13,36
Жёлтый	0,4248	0,5476	44,69

цветности пунктов в центральных точках 3×3 сетки спектрофотометром.

2.9. Контроль точности цветопередачи

В пределах минимального цветового охвата все цвета должны быть воспроизведены в пределах точности, приведённой в табл. 4.

Таблица 4 даёт ряд цветов, которые могут использоваться, чтобы проверить цветную точность.

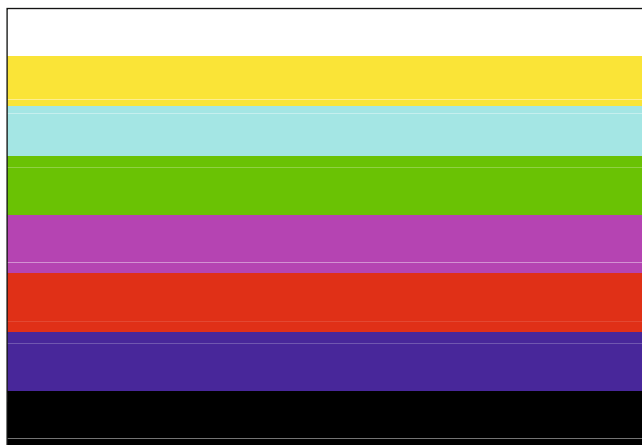


Рис. 7а. Тест-изображения горизонтальных цветных полос

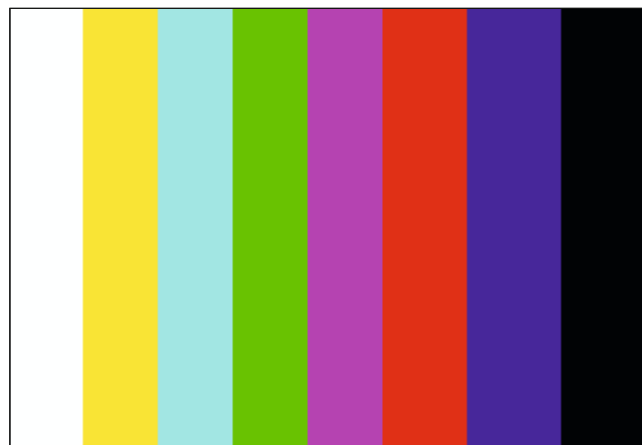


Рис. 7б. Тест-изображения вертикальных цветных полос

На рис. 7а и 7б приведены тест-изображения вертикальных и горизонтальных цветных полос в соответствии с табл. 4.

Все рассмотренные тест-изображения должны быть сформированы в виде XML-файлов и иметь формат (отношение ширины к высоте) $AR = 1,896$.

Итак, приведён и рассмотрен перечень необходимых параметров цифрового проектора, обеспечивающих получение требуемого качества экранного изображения. Разработан необходимый набор тест-изображений, предназначенных для визуального и инструментального контроля качества цифрового кинопоказа. Такой контроль необходим для обеспечения единства характеристик цифрового съёмочного процесса с технологическим процессом цифрового кинопоказа.

Далее описывается методика контроля качества экранного изображения при помощи указанных тест-изображений, а также требования к оборудованию для проведения визуального и инструментального контроля качества цифрового кинопоказа.

Методика контроля качества экранного изображения при цифровом кинопоказе

1. Визуальный контроль качества цифрового кинопоказа

Для этого используются:

Зрительная труба или бинокль $4^{\times} \div 8^{\times}$

Рулетка 20 метров

1.1. Контроль положения центра изображения

Для проверки правильности расположения центра изображения относительно центра экрана используется

тест-изображение типа «сетчатое поле», состоящее из вертикальной и горизонтальной белых линий на чёрном фоне [1, рис. 1].

Положение центра экрана определяется при помощи рулетки и соответствует пересечению горизонтальной и вертикальной линий, проходящих через середину высоты и ширины экрана.

1.2. Проверка точности фокусирования объектива цифрового проектора

Наблюдение указанных изображений на экране производится с использованием зрительной трубы или бинокля, при этом наблюдатель располагается в точке А зрительного зала (рис. 8).

Наблюдение производится в девяти точках экрана в соответствии с рис. 9.

Left Up Point, LUP ● Левый верхний угол	Center Up Point, CUP ● Центральная верхняя точка	Right Up Point, RUP ● Правый верхний угол
Left Center Point, LCP ● Левый центр	Center Point, C ● Центральная точка	Right Center Point, RCP ● Правый центр
Left Down Point, LDP ● Левый нижний угол	Center Down Point, CDP ● Центральная нижняя точка	Right Down Point, RDP ● Правый нижний угол

Рис. 9. Схема расположения точек на киноэкране для измерения равномерности яркости экрана

1.3. Проверка правильности воспроизведения градаций «серого клина»

Для указанной проверки используется изображение, состоящее из 10 градаций серого клина [1, рис. 2].

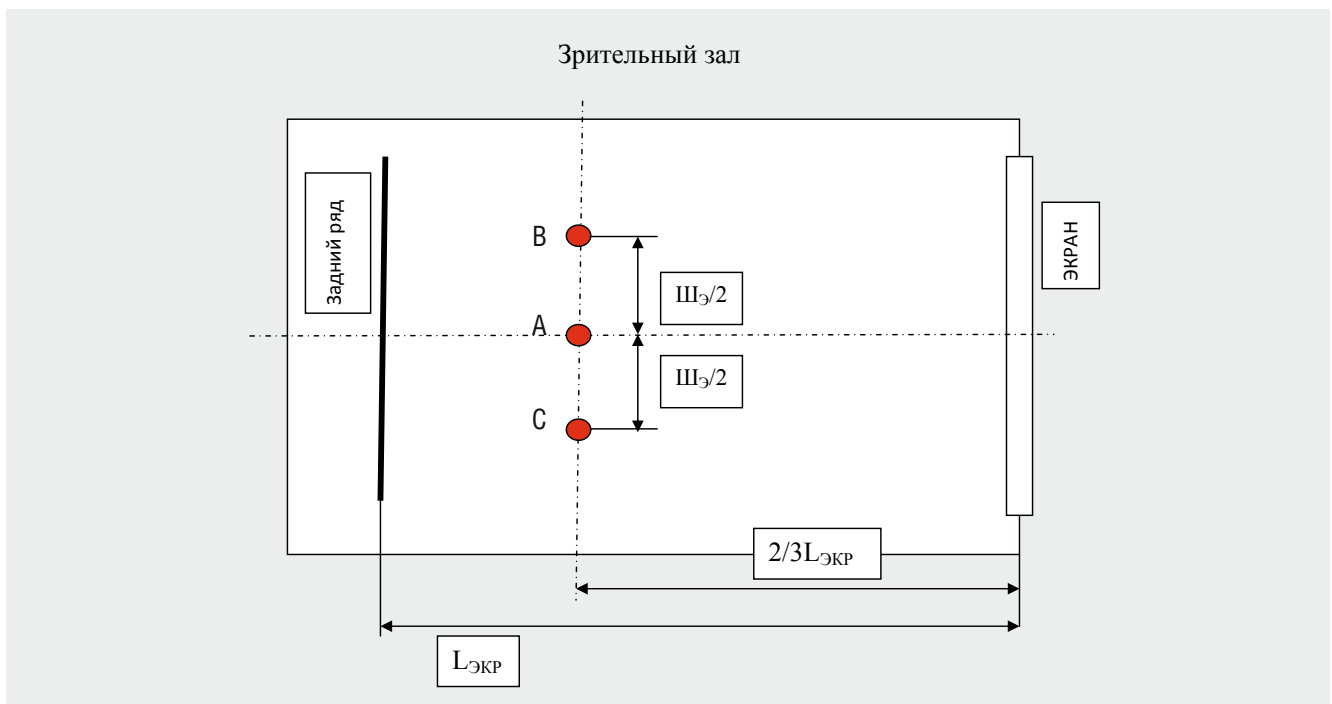


Рис. 8. Схема расположения точек в зрительном зале для проведения измерений

Все градации серого клина должны быть визуально различимы и быть нейтрально-серыми без любой видимой цветовой окраски.

1.4. Контроль незаметности яркостных границ при воспроизведении испытательных изображений «непрерывный серый клин» [1, рис. 3, 4].

При визуальном наблюдении этих испытательных изображений из центра зрительской зоны не должны быть заметны яркостные границы на всём поле изображения.

1.5. Контроль геометрических искажений изображения [1, рис. 5]

Измерение геометрических искажений производится рулеткой по ячейкам, расположенным в центре и углах изображения. Отклонение размеров ячейки от квадратной формы не должно превышать $\pm 5\%$.

1.6. Контроль отсутствия артефактов типа «лестница»

Наблюдение производится из центра зрительского зала при помощи зрительной трубы или бинокля.

1.7. Контроль отсутствия артефактов типа «оконтуривание»

Каждый испытательный образец изображения наблюдается из центра зрительского зала без использования каких-либо оптических приборов.

Испытательные изображения на экране не должны содержать видимого оконтуривания (ступеней яркости) или окрашивания нейтрально-серых объектов.

1.8. Контроль отсутствия временных артефактов [1]

Для визуальной оценки этого вида артефактов можно рекомендовать тест-изображение вертикальной и горизонтальной белой полосы, имеющей ширину около 10% соответствующих размеров экрана.

За пределами этих полос экран должен быть чёрного цвета.

Наблюдение производится из центра зрительского зала без использования каких-либо оптических приборов.

2. Инструментальный контроль качества экранного изображения

Для инструментального контроля качества экранного изображения необходимо следующее:

- Ноутбук с программами:
 - операционная система Microsoft Windows XP Professional SP2;
 - программа Eye-One Match 3.0.6;
 - программа ProfileMaker Pro 5.0.5;
 - программа CHROMIX ColorThink 2.1.2;
 - программа Adobe Photoshop CS2

и

- Спектрофотометр GretagMacbeth Eye-One Pro.

2.1. Измерение яркости изображения и неравномерности яркости по полю изображения

В соответствии с требованиями международного стандарта [2], яркость экрана измеряется спектрофотометром с полем зрения $1,5^\circ$ и со спектральной чувствительностью стандартного наблюдателя, установленной Международной комиссией по освещённости в 1924 г. и принятой Международным Комитетом Мер и Весов в 1933 г.

Аналогичная методика может использоваться при цифровом кинопоказе.

При измерении спектрофотометр должен быть установлен на расстоянии 1 м над полом в двух точках, расположенных на поперечной линии, пересекающей кинозал на расстоянии, равном $2/3$ расстояния между экраном и последним рядом сидений, и на расстоянии, равном половине ширины экрана до каждой стороны, параллельной продольной оси кинозала (рис. 8).

Используя тестовое изображение белого поля ($X' = 3794$, $Y' = 3960$, $Z' = 3890$), регулируется пиковая яркость белого поля при помощи регулятора яркости цифрового проектора, измеряемая в центре экрана до значения $48 \text{ кд/м}^2 \pm 10,2 \text{ кд/м}^2$.

Измерение равномерности яркости по полю изображения

Используя тест-сигнал белого поля ($X' = 3794$, $Y' = 3960$, $Z' = 3890$), производится измерение яркости в центральной точке экрана (Center Point) и ещё в восьми точках в соответствии с рекомендациями SMPTE 196E (рис. 9).

Взвешенное значение яркости в восьми указанных точках экрана должно составлять не менее 75% от значения яркости в центре.

2.2. Измерение последовательного контраста изображения

Последовательный контраст изображения измеряется в режиме последовательной проекции на экран тест-изображений белого и чёрного поля.

Последовательно измеряется яркость белого B_6 и чёрного B_4 полей. Последовательный контраст изображения вычисляется как отношение яркости белого поля к яркости чёрного поля.

$$K_n = B_6 / B_4$$

Величина последовательного контраста должна составлять не менее 1500:1 для просмотровой комнаты и не менее 1200:1 для кинозала при неизменном положении регулятора яркости цифрового проектора.

2.3. Измерение внутрикадрового контраста изображения

Внутрикадровый контраст изображения измеряется при проекции на экран тест-изображения «шахматное поле».

Измеряется яркость каждого чёрного и каждого белого поля в испытательном изображении шахматного поля.

Внутрикадровый контраст вычисляется как отношение суммы яркостей белых полей к сумме яркостей чёрных полей.

$$K_{\text{вн}} = \Sigma V_{\text{б}} / \Sigma V_{\text{ч}}$$

где:

$V_{\text{б}}$ – яркость белого поля

$V_{\text{ч}}$ – яркость чёрного поля

2.4. Измерение остаточного светового потока

Измерение остаточного светового потока $V_{\text{ост}}$ производится в режиме измерения яркости при проекции на экран тест-изображения чёрного поля в девяти точках экрана (по аналогии с измерением яркости изображения).

Величина $V_{\text{ост}}$ должна составлять не более 0,03 кд/м² в любой точке экрана.

2.5. Контроль координат белого поля

Используя тест-изображение белого поля ($X' = 3794$, $Y' = 3960$, $Z' = 3890$), производится измерение координат цветности центра экрана спектрофотометром.

2.6. Контроль цветовой однородности белой области

Отклонение координат цветности белого поля в угловых и граничных точках сетки не должно превышать $\pm 0,008$ x, y относительно центра для просмотровой комнаты и $\pm 0,010$ x, y для кинозала.

2.7. Контроль точности цветопередачи

Для контроля и проверки точности цветопередачи используется тест-изображение эталонных цветных полос с координатами цветности, указанными в таблице 4.

Измерение координат цветности производится спектрофотометром, установленным в точке А зрительного зала (рис. 8).

Координаты цветности измеряются в трёх точках каждой эталонной полосы – в соответствии с рис. 9, и затем усредняются.

Обработка полученных значений координат цветности и вычисление значений ΔE производится по методике, рассмотренной в [10].

Отклонение координат цветности от номинальных значений, указанных в таблице 4, должны быть в пределах

$\pm 1 \div 4 \Delta E$ для просмотровой комнаты и $\pm 4 \Delta E$ для кинозала.

Заключение

В данной работе приводятся тест-изображения и методики контроля следующих параметров цифрового экранного изображения:

1. Визуальный контроль:

1.1. Контроль положения центра изображения;

1.2. Проверка точности фокусирования объектива цифрового проектора;

1.3. Проверка правильности воспроизведения градаций серого клина;

1.4. Контроль незаметности яркостных границ при воспроизведении испытательных изображений «непрерывный серый клин»;

1.5. Контроль геометрических искажений изображения;

1.6. Контроль отсутствия артефактов типа «лестница»;

1.7. Контроль отсутствия артефактов типа «оконтурирование»;

1.8. Контроль отсутствия временных артефактов.

2. Инструментальный контроль:

2.1. Контроль яркости изображения и равномерности яркости по полю изображения;

2.2. Контроль последовательного контраста изображения;

2.3. Контроль внутрикадрового контраста изображения;

2.4. Контроль остаточного светового потока;

2.5. Контроль координат белого поля;

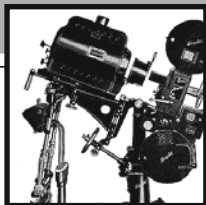
2.6. Контроль цветовой однородности белой области;

2.7. Контроль точности цветопередачи.

В качестве развития рассмотренных методик рекомендуется создание тест-изображений для контроля артефактов типа «оконтурирование» в виде пейзажей, содержащих максимальное количество градаций яркости, например, изображения горизонта, особенно на закате или восходе солнца, и естественном спаде яркости вокруг ярких центров, особенно если есть рассеяние света объективом или атмосферой. Эти испытательные градации яркости должны быть помещены в фон, равный минимальной яркости в градации, так, чтобы глаз был адаптирован к максимальной чувствительности. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Блохин А.С. Разработка тестовых изображений для контроля качества цифрового кинопоказа. // МТК № 1 (23), с. 40–43, 2012.
2. ISO 2910:2007 Cinematography – Screen luminance and chrominance for the projection of motion pictures.
3. ISO/DIS 26431-2:2008 Part. 2. Digital cinema (D-cinema) quality – Part 2: Reference projector and environment.
4. «StEM Mini-Movie» <http://www.dcinematoday.com/>
5. ИСО/ПМС 17121: 2000-01-12.
6. Commission Supérieure Technique de l'Image et du Son. Page 1 Synthèse Ciné Num.doc Alain Besse –14/09/2005.
7. Nokia test. Copyright © by iXBT.com, 1997–2011. Produced by iXBT.com
8. Norman Hurst. I can See Clearly Now A New Test Pattern for the digital Age // SMPTE Motion Imaging Journal, p. 31–37, October 2011.
9. ГОСТ Р 52870-2007. Средства отображения информации коллективного пользования. Требования к визуальному отображению информации и способы измерения. // Москва, 2007.
10. Бабенков М. Тестирование LCD-мониторов. // КомпьютерПресс, 2012.



НЕОБХОДИМОСТЬ НОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СТЕРЕОПАРЫ И СТЕРЕОПРОЕКЦИИ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ЗРИТЕЛЬНОГО ДИСКОМФОРТА В УСЛОВИЯХ КИНОЗАЛА

В.Г. Комар, д.т.н.,
профессор,
С.Н. Рожков,
Д.Г. Чекалин,
ОАО «НИКФИ»



Аннотация

В статье рассмотрены факторы, влияющие на восприятие стереоизображения в кинозале. Определены причины возникновения этих факторов на различных стадиях производства и при демонстрации стереофильма. Предложены способы уменьшения их отрицательного воздействия. Изложены принципы определения допустимых резервов увеличения экранных положительных и отрицательных параллаксов. Сформулированы требования к организации стереокинопоказа. Обоснована необходимость нормирования параметров стереопары, и параметров стереопроекции, обеспечивающих комфортное восприятие изображений стереопары.

Ключевые слова: стереоскопическое киноизображение, механизмы зрительной системы, стереовосприятие, зрительный дискомфорт, нормирование стереопараметров.

Введение

Процессы создания и демонстрации стереоскопического фильма (S3D фильма) имеют специфиче-

NECESSITY OF STEREO PAIR AND STEREO PROJECTION PARAMETERS NORMALIZATION FOR VISUAL DISCOMFORT MINIMIZING IN THEATRICAL CONDITIONS

V. Komar, S. Rozhkov, D. Chekalin

Abstract

Factors affecting theatrical 3D movie perception are considered. The sources of these factors at various stages of stereo movie creation and demonstration are discussed and the ways of minimizing negative effects are proposed. An approach to assessment of acceptable positive and negative screen parallax reserves is suggested. The essential conditions of demonstration are formulated. The necessity of stereopair parameter standardization is substantiated in view of comfortable stereoscopic images perception.

Keywords: stereoscopic movie image, mechanisms of visual system, stereoscopic perception, visual discomfort, standardization of stereo parameters.

ские особенности, которые, с одной стороны, позволяют использовать выразительные возможности третьего измерения, с другой – определяют ряд факто-

ров, затрудняющих и замедляющих процесс восприятия [1, 2].

Знание этих факторов, а также способов уменьшения их отрицательного воздействия позволит существенно приблизить характер работы зрительной системы при просмотре стереофильмов как к привычным условиям просмотра плоскостных фильмов в обычном кинозале, так и к условиям наблюдения реальных объектов. Это, в свою очередь, даст возможность режиссёру и оператору в более широком диапазоне использовать выразительные возможности третьего измерения и создать для кинозрителей максимально комфортные условия просмотра стереофильма.

В процессе наблюдения реальных объектов воспринимаемая объёмно-пространственная картина формируется мозгом на основе монокулярных и бинокулярных факторов пространственного зрения, наиболее важным из которых является совокупность бинокулярных параллаксов в стереопаре на сетчатках глаз.

При просмотре обычного фильма изображения на сетчатках глаз одинаковы, мозг обрабатывает получаемую от левого и правого глаза идентичную информацию о рельефности объектов и их взаимном расположении, формируя объёмно-пространственную картину на основе только монокулярных факторов пространственного зрения. Наблюдаемое изображение не изменяется при его рассматривании как одним, так и двумя глазами.

В стереоскопическом фильме зритель воспринимает объёмно-пространственную картину, опираясь в основном на бинокулярные факторы пространственного зрения, из которых главным является различие бинокулярных параллаксов в сетчаточной стереопаре. Бинокулярные параллаксы формируются угловыми горизонтальными параллаксами экранной стереопары, диапазон которых определяется параметрами стереосъёмки (фокусное расстояние стереооптики, базис стереосъёмки, дистанция до наиболее близких и наиболее дальних объектов), размерами изображений стереопары на экране и расстоянием от экрана до глаз зрителя.

Стереофильм изменяет характер нагрузки на зрительную систему зрителя и в целом, в силу специфики восприятия стереоизображения, эту нагрузку увеличивает, поэтому к экранной стереопаре и ряду параметров стереокинопоказа предъявляются более жёсткие требования, чем к параметрам и условиям демонстрации обычных фильмов.

Помимо горизонтальных параллаксов, изображения экранной стереопары могут отличаться по ряду других параметров. Эти отличия формируют ряд факторов, затрудняющих и замедляющих восприятие стереокиноизображения. Часть этих факторов поддаётся численной оценке, и степень их воздействия на зрительную систему определяется соответствующими параметрами стереоизображения, допустимые пределы значений которых целесообразно стандартизовать [3, 4].

Другая часть численной оценке не поддаётся или поддается частично, и воздействие этих факторов на вос-

приятие может быть снижено только путём следования рекомендациям, разработанным на основе результатов исследований работы зрительной системы (в естественных условиях и в условиях кинозала) и накопленного опыта фильмопроизводства и организации стереокинопоказа в кинотеатрах [2, 3, 5].

Степень воздействия этих факторов в значительной степени зависит от общих условий предъявления стереоизображения и, в первую очередь, от уровня яркости воспринимаемого стереокиноизображения. Недостаточная яркость существенно увеличивает нагрузку на зрительную систему и усиливает негативное воздействие других факторов.

В настоящее время при отсутствии действующих стандартов, регламентирующих нормы стереокинопоказа, яркость стереоизображения в большинстве кинотеатров продолжает оставаться недостаточной, и это становится одной из основных причин, снижающих интерес зрителей к стереокино.

Минимально допустимый уровень воспринимаемой яркости экрана для стереокинозалов до сих пор не стандартизован. Его стандартизация должна быть проведена с учётом экспертных оценок различных возрастных групп зрителей. Это позволит создать условия наблюдения стереоизображения в кинозале, позволяющие свести к минимуму ощущения дискомфорта и усталости глаз.

1. Основные факторы, затрудняющие и замедляющие восприятие стереокиноизображения

Общей первопричиной ощущения дискомфорта, возникающего при просмотре стереофильмов, являются непривычные различия информации, поступающей в мозг через левый и правый каналы зрительной системы. Такие различия, затрудняющие формирование единого объёмно-пространственного образа, характерны для каждого из рассмотренных ниже факторов.

- **Увеличенные положительные параллаксы.** Диапазон положительных параллаксов на киноэкране, формирующих участки изображений в заэкранном пространстве, не нормирован, и единого мнения на этот счёт пока нет. При попытках определения максимально допустимой величины положительного параллакса на экране за исходный постулат обычно принимается необходимость ограничения этого параметра средней величиной базиса зрения 65 мм, так как считается, что любое превышение этой величины должно вызывать дивергенцию зрительных осей. Однако при этом не учитываются резервы стереоскопического зрения, позволяющие без дивергенции, при параллельных зрительных осях, воспринимать стереоизображение в случаях, когда положительные параллаксы в экранной стереопаре увеличены по сравнению с базисом зрения в несколько раз.

В естественных условиях при рассматривании какого-либо объекта человек воспринимает без двоения и дополнительной нагрузки на глаза другие объекты, распо-

ложенные ближе и дальше точки фиксации взора, в пределах зоны стереоскопической глубины [6], называемой также зоной бинокулярного слияния, или фузионной зоной (рис. 1), и ограниченной угловыми апертурами φ фузии [2]. Зрительная система отображает точку фиксации взора в середине центральной ямки жёлтого пятна сетчатки левого и правого глаза (рис. 2). Если угловую апертуру фузии принять равной $70'$ [6], то поперечный размер зоны бинокулярного слияния на центральной ямке сетчатки составит около 0,4 мм.

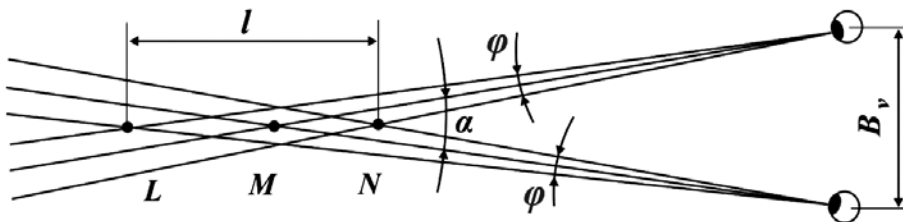


Рис. 1. Зона стереоскопической глубины (з.с.г.): B_v – базис зрения, M – точка фиксации взора, N и L – ближняя и дальняя точки з.с.г., l – протяжённость з.с.г., α – угол конвергенции, φ – угловая апертура фузии

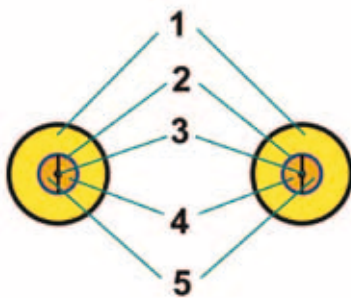


Рис. 2. Условная схема расположения областей отображения близких и дальних объектов на сетчатках глаз относительно изображений точки конвергенции: 1 – жёлтое пятно сетчатки глаза; 2 – внешняя граница зоны бинокулярного слияния на центральной ямке сетчатки; 3 – место отображения точки конвергенции; 4 – область отображения дальних объектов; 5 – область отображения близких объектов

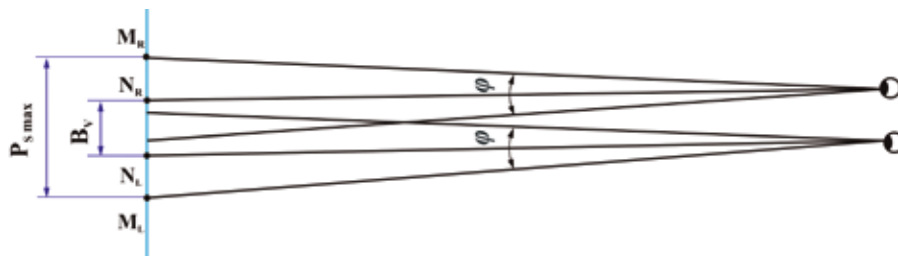


Рис. 3. Допустимый резерв увеличения положительных параллаксов на экране: S – плоскость экрана; M_L и M_R – сопряжённые изображения максимально удалённой точки на границах зон бинокулярного слияния, воспринимаемые без дивергенции зрительных осей (на экране увеличенных размеров); N_L и N_R – сопряжённые изображения максимально удалённой точки, воспринимаемые при параллельных зрительных осях (на экране расчётных размеров); φ – угловая апертура фузии; $p_{s \max}$ – максимально допустимый положительный параллакс; B_v – базис зрения

Из рис. 2 следует, что в реальных условиях при рассмотрении наиболее удалённых объектов (Луны, звёзд) или иных объектов, расположенных на значительных расстояниях, то есть при практически параллельных зрительных осях, области отображения дальних объектов 4 на сетчатках глаз не используются. Именно этот резерв позволяет без дивергенции воспринимать на экране участки стереопары с увеличенными параллаксами (рис. 3).

Исходя из этого рассуждения, величину максимально допустимого положительного параллакса можно вычислить по формуле:

$$p_{S \max} = B_v + 2L_v \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}, \quad (1)$$

где: $p_{s \max}$ – максимально допустимый положительный параллакс на экране, мм;
 B_v – базис зрения, мм;
 L_v – расстояние от глаз зрителя в первом ряду до экрана, мм;
 φ – угловая апертура фузии.

Наиболее критичным превышение положительных параллаксов оказывается для зрителей, расположенных на минимальном расстоянии от экрана. Действующие в настоящее время нормы расстояний от экрана до спинки первого ряда относятся к плоскостному кинематографу, носят рекомендательный характер и предусматривают минимально допустимую величину, равную двум высотам экранного изображения.

Такое же ограничение расстояния для первого ряда предусматривалось и для стереокинотеатров [5]. Учитывая улучшение резкостных характеристик современных технических средств кинопоказа (в частности, цифровых кинопроекторов с разрешением 4K), мы предлагаем ограничить минимальное расстояние от экрана до спинки первого ряда величиной в полторы высоты экрана.

Тогда расстояние от глаз зрителя первого ряда до экрана с размерами, например, $14,1 \times 6$ м составит 9 м. При угловой апертуре фузии, равной $70'$, расчётная величина допустимого положительного параллакса $p_{s \max}$ окажется равной 247 мм, что в 3,8 раза превышает среднюю величину базиса зрения.

Часть исследователей [7] величину угловой апертуры фузии принимает равной 1° . При таком условии величина допустимого положительного параллакса для данного экрана составит 222 мм, что превышает базис зрения в 3,4 раза. Просмотры на экране шириной 18 м с расстояния менее 12 м стереокиноматериалов и стереофильмов, параметры стереосъёмки которых рассчитывались для экрана

шириной 6,5 м, показали, что комфортность восприятия изображений наиболее удалённых объектов сохраняется. Причинами более значительных экранных положительных параллаксов могут быть неправильно выбранные расчётные размеры экранного изображения и ошибки при установке стереопараметров в процессах съёмки, компьютерного синтеза стереоизображения, конвертации плоскостного изображения в стереоскопическое.

С учётом изложенного выше, при расчёте параметров стереосъёмки за расчётную ширину экрана следует принимать 6,5 м. Допустимый положительный параллакс предлагается ограничить величиной 65 мм, что составляет одну сотую ширины изображения и равно расчётному базису зрения.

Величину максимально допустимого положительного экранного параллакса целесообразно нормировать. Но это следует сделать после проведения специальных испытаний по определению фузионных резервов в условиях стереокинопроекции со стандартизованными световыми характеристиками.

• **Увеличенные отрицательные параллаксы.** По сравнению с положительными параллаксами диапазон отрицательных параллаксов, формирующих участки стереоизображения в предэкранном пространстве, значительно больше.

Степень выхода этих участков в предэкранное пространство характеризуется коэффициентом, определяемым как отношение расстояния между экраном и воспринимаемым зрителем участком изображения к расстоянию между экраном и зрителем. Если коэффициент выхода в зал рассматриваемого участка равен 0,5, то зритель, сидящий в десяти метрах от экрана, воспримет этот участок на расстоянии пять метров. А участок изображения с коэффициентом выхода 0,9 этот зритель воспримет в одном метре перед собой. Зависимость коэффициента выхода от величины отрицательного параллакса на экране определяется по формуле:

$$Q = \frac{|p_s|}{|p_s| + B_v}, \quad (2)$$

где: **Q** – коэффициент выхода в предэкранное пространство;

|p_s| – абсолютная величина отрицательного параллакса на экране, мм;

B_v – базис зрения, мм.

Из этого соотношения видно, что существенное увеличение коэффициента выхода в предэкранное пространство требует значительного роста значений отрицательных параллаксов (рис. 4). Например, выход в зал на три четверти расстояния от экрана до зрителя ($Q = 0,75$) воспринимается при отрицательном параллаксе 195 мм. Коэффициенту $Q = 0,9$ соответствует параллакс 545 мм, а для коэффициента $Q = 0,95$ отрицательный параллакс на экране должен составить 1235 мм.

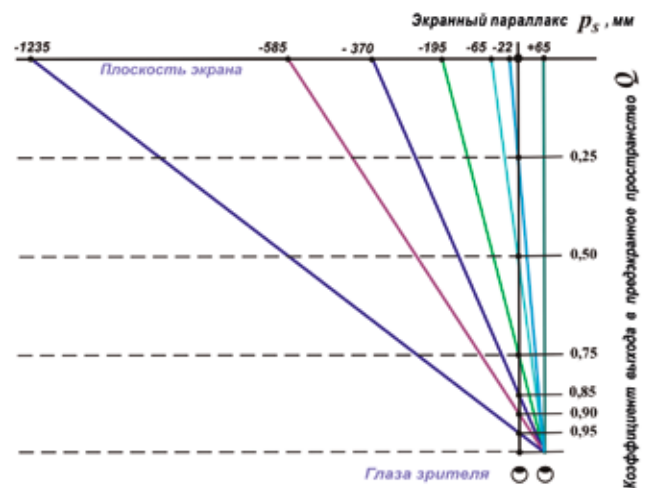


Рис. 4. Связь между величиной отрицательного параллакса и коэффициентом выхода участка изображения в предэкранное пространство

Величину угла конвергенции при рассматривании точечного объекта, сформированного в предэкранном пространстве, в общем случае с достаточной точностью можно определить по формуле:

$$\alpha = 2 \arctg \frac{|p_s| + B_v}{2L_v}, \quad (3)$$

где: **α** – угол конвергенции;
|p_s| – абсолютная величина отрицательного параллакса точки на экране, мм;
B_v – базис зрения, мм;
L_v – расстояние от глаз зрителя до экрана, мм.

Величина угла конвергенции может быть определена также по формуле:

$$\alpha = 2 \arctg \frac{B_v}{2L_v (1 - Q)}, \quad (4)$$

где: **Q** – коэффициент выхода в предэкранное пространство.

С помощью этой формулы можно, например, определить, что зрителю первого ряда для восприятия точечного объекта, формируемого в зальном пространстве с коэффициентом выхода 0,95, потребуется свести зрительные оси до угла 18°.

В реальных условиях предельный угол конвергенции превышает 30° (точка фиксации взора в десяти сантиметрах от глаз соответствует углу 36°). При длительном рассматривании объектов на близком расстоянии глаза начинают уставать, и тем быстрее, чем больше величина угла конвергенции. Следует отметить, что это происходит в условиях естественной согласованности нагрузок на глазные мышцы, управляющие аккомодацией и конвергенцией.

В стереокинозале при рассматривании участка с заданным отрицательным параллаксом, угол конвергенции с увеличением расстояния от зрителя до экрана уменьшается, но возрастает нагрузка на зрительную систему из-за увеличения степени рассогласования между аккомодацией и конвергенцией.

Проверено на практике, что подавляющее большинство зрителей без ощущения дискомфорта воспринимает участки стереоизображения с коэффициентами выхода до 0,9, если этот выход происходит постепенно, а отрезок времени для наблюдения таких участков непродолжителен.

Для значительной части зрителей дискомфорт начинает ощущаться при длительном рассматривании участков изображения, сформированных с коэффициентом выхода, превышающим 0,65, что соответствует отрицательному параллаксу 130 мм на экране расчётной ширины (6,5 м), или 0,02 ширины изображения. Поэтому отрицательный параллакс для статичных элементов композиции целесообразно нормировать, ограничив его этой величиной.

• **Эффект отжимающего действия рамки** – феномен восприятия стереоизображения, заключающийся в том, что если отдельные его участки, сформированные в пространстве между зрителем и экраном, отсекаются границами изображения, то они как бы отжимаются от наблюдателя в сторону экрана и воспринимаются с меньшей степенью выхода в зал, чем это было обусловлено горизонтальными параллаксами, заложенными в стереопаре. Дискомфорт, вызываемый действием этого фактора, особенно ощутим при рассматривании таких участков изображения у боковых границ экрана.

Эффект практически незаметен в случаях, когда изображения выходящих в зал объектов движутся, пересекая границы пространства стереоизображения. Воздействие эффекта отжимающего действия рамки существенно ослабевает и при увеличении угловых размеров изображения, когда его участки у боковых границ воспринимаются периферийным зрением. Этот фактор всегда следует учитывать при съёмке объектов, расположенных перед плоскостью рампы.

• **Вертикальные параллаксы.** Вертикальный параллакс может проявляться в виде взаимного смещения по вертикали сопряжённых изображений стереопары или их отдельных сопряжённых участков. Бинокулярное слияние при рассматривании таких участков приводит к возникновению вертикальной составляющей угла между зрительными осями, направленными на сопряжённые точки стереопары, что может стать причиной общего дискомфорта восприятия.

Причины возникновения вертикальных параллаксов различны. Одинаковое взаимное смещение всех сопряжённых участков стереопары может возникать в процессе съёмки (рассогласование в вертикальном направ-

лении взаимного положения оптических осей объектов относительно центров экспонируемых полей, неточная взаимная ориентация камер при двухкамерной съёмке) и при проекции (неточное совмещение изображений стереопары). Вертикальные параллаксы на периферийных участках стереопары возникают из-за проективных искажений при стереосъёмке на конвергированных осях (см. ниже) или в случае разномасштабности изображений стереопары при неидентичности фокусных расстояний объективов левого и правого каналов.

Особое место занимает взаимный вертикальный параллакс между участками изображений, полученных при стереосъёмке в две экспозиции или комбинированной печати. Такого рода параллаксы значительно заметнее, чем общий вертикальный параллакс, одинаковый для всех участков стереопары. По этой же причине при незначительном, практически неощутимом, общем вертикальном параллаксе, может возникать дискомфорт при рассматривании участков стереопары, примыкающих к верхней или нижней границе экрана. В этом случае отдельные элементы стереопары, доступные для одного глаза, недоступны для другого, так как оказываются за пределами экрана.

Общий вертикальный параллакс не должен превышать 0,2% высоты изображения. Для зрителей первого ряда эта величина в угловой мере соответствует 5'.

• **Объёмно-пространственные искажения.** В двухмерном плоскостном киноизображении оценка протяжённости пространства, рельефности объектов и искажений воспринимаемой объёмно-пространственной картины основывается на монокулярных факторах пространственного зрения – линейной перспективе, видимых размерах известных объектов, распределении светотеней, воздушной перспективе и др., то есть исключительно на основе информации, идентичной для двух глаз. Объёмно-пространственные искажения могут восприниматься в кадрах, снятых короткофокусной либо длиннофокусной оптикой, в кадрах с несоразмерными элементами декораций и в комбинированных кадрах, полученных многократным экспонированием с применением оптики различного фокусного расстояния.

В стереоскопическом изображении к монокулярным факторам добавляются бинокулярные, главный из которых – различие бинокулярных параллаксов в паре сетчаточных изображений. Действуя в совокупности, бинокулярные и монокулярные факторы, как правило, усиливают выразительность стереоизображения. Однако в ряде случаев неверно выбранные стереопараметры (сочетание фокусного расстояния, базиса стереосъёмки и дистанции рампы) приводят к тому, что бинокулярные и монокулярные факторы вступают в противоречие, в результате чего изображение воспринимается неестественным.

При увеличении базиса стереосъёмки растёт диапазон горизонтальных параллаксов и продольные размеры в стереоизображении воспринимаются увеличенными по отно-

шению к поперечным. Это приводит, в частности, к тому, что голова человека на крупном плане выглядит неестественно вытянутой вдоль направления съёмки. Увеличенный базис приводит также к эффекту миниатюризации («лилипутизму») – эффекту уменьшения знакомых объектов, возникающему при несоответствии воспринимаемых угловых и линейных размеров изображений этих объектов. Если в реальном пространстве угловые размеры наблюдаемого известного объекта невелики, это означает, что объект находится на достаточно большом расстоянии от наблюдателя. Чтобы сохранить эту естественность в стереоизображении, отображаемый объект должен восприниматься также на достаточно далёком расстоянии, для чего следует увеличить положительный параллакс в изображениях этого объекта на стереопаре. Это можно сделать, уменьшив дистанцию рампы, но возможности этого уменьшения ограничены недопустимостью чрезмерного увеличения положительных параллаксов для наиболее удалённых объектов.

При использовании длиннофокусной оптики для съёмки общих планов может возникать эффект кулиسنости (эффект «плоских декораций»). Пространственная картина воспринимается в виде набора плоских изображений отдельных объектов, расположенных на различном удалении от точки съёмки. Такой эффект наблюдается, если в предъявляемой стереопаре параллакс деталей объекта меньше порогового параллакса стереоизображения, то есть меньше минимальной разности горизонтальных параллаксов, позволяющей ощутить разноудалённость наиболее близкой и наиболее удалённой (от точки съёмки) точек объекта.

• **Статичные блики в одном из изображений стереопары** могут вызывать очень сильный дискомфорт восприятия, особенно при длительном воздействии. В последнем случае неприятные ощущения могут возникать даже при незначительных бликах. Кратковременные блики в динамичных сценах, как правило, дискомфорта не вызывают. Блики могут использоваться целенаправленно для создания эффекта стереоскопического блеска [8]. Уместность блика и степень дискомфорта проверяются путём просмотра на экране в кинозале.

• **Обратный стереозэффект** – пространственный эффект, возникающий при предъявлении каждому из глаз наблюдателя изображения стереопары, предназначенного для другого глаза. В этом случае изображения удалённых объектов воспринимаются на небольших расстояниях, а изображения близких объектов — на заднем плане, как бы прорезая своими контурами выходящее на передний план фоновое изображение. Изображения самих объектов воспринимаются с псевдостереоскопическим (обратным) рельефом – выпуклые участки выглядят вогнутыми, а вогнутые – выпуклыми. Стереоизображение выглядит неестественно, воспринимается с трудом или вообще не воспринимается.

• **Перекры́стные помехи** – появление в изображении одного или двух ракурсов стереопары дополнительного (паразитного, фантомного) изображения другого ракурса. При двухобъективной стереосъёмке на один регистратор – это участки изображения, сформированные соседним объективом. При стереопроекции перекры́стные помехи проявляются в виде дополнительных контуров или двоящегося изображения вследствие недостаточной сепарации. В случае двухобъективной стереопроекции причиной возникновения помех является недостаточная эффективность применяемой системы сепарации. При однообъективной стереопроекции могут возникать помехи, вызванные фазовым рассогласованием в устройствах сепарации левого и правого изображений стереопары, основанных на попеременном их предъявлении левому и правому глазу зрителя.

• **Фазовые искажения** – искажения, вызванные различием фаз движения объектов в левом и правом изображениях стереопары. Незначительная степень фазовых искажений вызывает ощущение дискомфорта, значительная – приводит к разрушению стереоскопического эффекта. Такого рода искажения могут возникать из-за нарушения синхронности и синфазности при экспонировании стереопары, ошибок при цифровой обработке стереокиноматериалов, фазовых рассогласований в процессе стереокинопроекции.

• **Проективные искажения** – геометрические искажения изображений стереопары, возникающие при стереосъёмке на конвергированных осях и выражающиеся в различии размеров сопряжённых участков в изображениях стереопары, вызываемом плавным изменением масштаба этих изображений в противоположных горизонтальных направлениях.* Например, прямоугольник, расположенный фронтально и симметрично относительно направления съёмки, на кадрах стереопары может отображаться в виде равнобедренных трапеций, положенных на бок и обращённых большими основаниями в противоположные стороны (рис. 5). Плавное изменение масштаба от одной боковой границы к другой, противоположное по знаку для левого и правого изображений, приводит к дискомфорту восприятия по двум причинам: из-за возникновения вертикальных параллаксов, увеличивающихся от центра к краям изображения, и из-за нарушения линейности изменения горизонтальных параллаксов, которое приводит к искажению воспроизводимой объёмно-пространственной картины.

Так, например, если участок плоского объекта, поверхность которого перпендикулярна к направлению съёмки, отображается в центре экрана с нулевым параллаксом,

* Подобные искажения в литературе иногда называют аффинными, однако это не вполне корректно, т. к. аффинные преобразования (являющиеся частным случаем проективных) предполагают требование сохранения параллельности прямых, что в рассматриваемом нами случае нарушается.

то другие участки этого объекта по мере удаления от центра и приближения к боковым границам кадра отображаются с увеличивающимися положительными параллаксами и воспринимаются в заэкранном пространстве.

Проективные искажения возникают при однообъективной стереосъёмке, осуществляемой с помощью съёмочной стереонасадки, и при двухобъективной, осуществляемой с конвергенцией оптических осей. Подобные искажения возникают также при синтезе стереопар на компьютере с применением программ, моделирующих стереосъёмку на конвергированных осях. В плёночных системах проективные искажения не устранялись, в цифровых — могут устраняться компьютерными методами.

• **Разномасштабность** – различие размеров сопряжённых изображений или сопряжённых участков стерео-

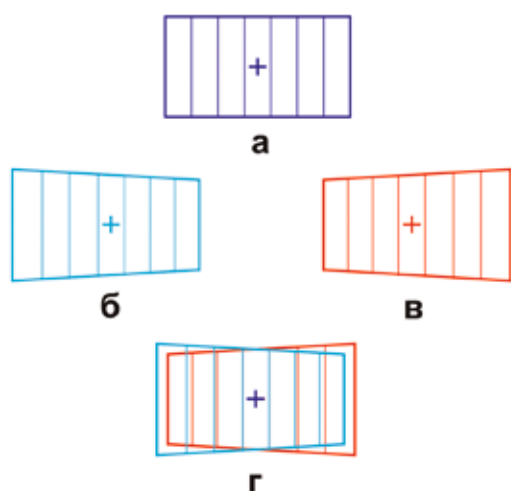


Рис. 5. Проективные искажения: а – объект съёмки; б – изображение левого ракурса; в – изображение правого ракурса; г – совмещённые изображения стереопары

пары, приводящее к формированию вертикальных параллаксов у верхней и нижней границы изображения и к искажению картины горизонтальных параллаксов. Основная причина – различие фокусных расстояний в левом и правом каналах стереосъёмки и/или двухобъективной проекции. Степень разномасштабности должна нормироваться.

• **Разнорезкость изображений стереопары**, возникающая в процессе стереосъёмки и/или двухобъективной стереопроекции, должна нормироваться и контролироваться.

• **Разноконтрастность и разнояркость изображений стереопары** могут стать причиной дискомфорта восприятия и создавать ощутимую нагрузку на зрительную систему. Эти факторы могут формироваться в процессах стереосъёмки, цифровой обработки и проекции. Допустимые различия должны нормироваться и контролироваться.

• **Различная цветность левого и правого изображений** выражается в различии общей цветности в кадрах стереопары или в отдельных сопряжённых участках. Может формироваться в процессе стереосъёмки или при кинопроекции. Причинами могут быть различные цветные характеристики пары объективов, различия в настройках левого и правого каналов стереосъёмки, а также специфические особенности различных методов сопоставления при стереопроекции. Небольшие различия цветности при непродолжительном воздействии могут не замечаться благодаря эффекту бинокулярного смещения цветов — эффекту ощущения третьего цвета при стимуляции сетчаток левого и правого глаза разными цветами.

Степень различий цветности должна нормироваться. Для определения допустимых величин отклонения должны быть проведены дополнительные исследования.

• **Несовпадение боковых границ изображений экранной стереопары** не должно иметь места. Механизм возникновения несовпадения границ может иметь различный характер и различные причины. Совпадающие боковые границы изображений левого и правого ракурсов можно рассматривать как граничные участки изображений стереопары, отображённые с нулевым параллаксом. Они воспринимаются зрителем как ориентиры, отделяющие предэкранное пространство от заэкранного.

Если изображения стереопары взаимно смещены по горизонтали без кашетирования их по ширине, то параллаксы между всеми сопряжёнными точками и между границами сопряжённых изображений оказываются изменёнными на одну и ту же величину и боковые границы воспринимаются как совпадающие общие границы стереоизображения. Поэтому воспринимаемая объёмно-пространственная картина не изменяется, но изменяются границы диапазона изменения углов конвергенции и характер нагрузки на зрительную систему. Если смещение изображений значительно, то у зрителей, в первую очередь у тех, кто ближе к экрану, может возникнуть ощущение дискомфорта. Наиболее вероятной причиной такого смещения может быть неточная юстировка проекционной установки с отдельной двухобъективной проекцией левых и правых изображений стереопары.

Если несовпадение боковых границ вызвано различием ширины сопряжённых изображений стереопары, то параллакс между левыми боковыми границами сопряжённых изображений стереопары будет отличаться по величине и/или знаку от параллакса между правыми границами. Это означает, что участки изображения с нулевыми или одинаковыми параллаксами, близкими к нулевому, будут восприниматься на различном расстоянии от плоскости экрана или по разные его стороны, что может вызывать заметный дискомфорт из-за искажения объёмно-пространственной картины. Причины такого несовпадения: разномасштабность изображений исходной стереопары, ошибки при форматировании стереоматериала цифровой фильмокопии, разномасштабность

Табл. 1. Стадии формирования основных факторов, затрудняющих и замедляющих восприятие стереокиноизображения, и способы их регламентирования

№№ п/п	Наименование фактора	Стадия формирования			Способ регламентирования	
		Съёмка	Цифровая обработка	Проекция	Нормирование	Рекомендации
1	Недостаточная яркость стереоизображения		+	+	+	
2	Увеличенные положительные параллаксы	+	+	+	+	+
3	Увеличенные отрицательные параллаксы	+	+	+	+	+
4	Эффект отжимающего действия рамки	+	+			+
5	Вертикальные параллаксы	+		+	+	
6	Объёмно-пространственные искажения	+				+
7	Статичные блики в одном из изображений	+		+	+	+
8	Обратный стереозэффект		+	+	+	
9	Перекрёстные помехи	+		+	+	
10	Фазовые искажения	+	+		+	
11	Проективные искажения	+	+	+	+	
12	Разномасштабность изображений стереопары	+		+	+	
13	Разнорезкость изображений стереопары	+		+	+	
14	Разноконтрастность изображений стереопары	+	+	+	+	
15	Разнояркость изображений стереопары	+	+	+	+	
16	Различная цветность левого и правого изображений	+	+	+	+	
17	Несовпадение боковых границ изображений экранной стереопары		+	+	+	

из-за разнофокусности оптики при двухобъективной стереопроекции.

Величина допустимого несовпадения боковых границ изображений стереопары должна нормироваться.

Степень отрицательного влияния каждого из рассмотренных факторов на восприятие стереокиноизображения зависит от продолжительности воздействия и усиливается в сочетании с другими факторами.

Стадии кинопроцесса, на которых может происходить формирование рассмотренных выше факторов, и способы их регламентирования сведены в таблицу 1.

2. Дополнительные факторы, затрудняющие стереовосприятие, которые должны учитываться и контролироваться при создании стереофильма и формировании киносеанса

Специфическим условиям предъявления стереопары на экране и восприятия трёхмерного изображения посвящено достаточно большое количество исследований, хотя многие аспекты восприятия стереоизображения ещё предстоит изучить. Но уже не требует доказательств тот факт, что при прочих равных условиях восприятие стереоизображения требует большего времени

по сравнению с обычным киноизображением. Необходимая продолжительность «настройки» механизмов бинокулярного зрения и степень зрительного дискомфорта при просмотре стереофильма зависят как от совокупности различных факторов, так и от состояния зрительных функций конкретного зрителя [9, 10]. Поэтому влияние факторов, затрудняющих и замедляющих восприятие стереоизображения, следует уменьшать настолько, чтобы максимальное количество зрителей воспринимало стереоизображение с минимальной дополнительной нагрузкой на зрительную систему.

Ниже рассматриваются факторы, которые весьма сложно регламентировать. Но их необходимо учитывать, опираясь, с одной стороны, на опыт специалистов и коллег, работающих в стереокино, а с другой — на собственные опыт и интуицию.

• Внезапное появление изображений объектов со значительным выходом в предэкранное пространство

Как уже отмечалось выше, стереоизображения, включающие в себя участки со значительной степенью выхода в предэкранное пространство, особенно при большой длительности планов, могут восприниматься с трудом из-за вынужденного рассогласования механизмов

аккомодации и конвергенции. Отмечалось также, что такого рода нагрузки на зрительную систему могут быть снижены, если они кратковременны либо рассогласование происходит постепенно. Но если в пространстве зала изображения объектов появляются из-за кромки экрана или после смены монтажного плана внезапно, неизбежен очень сильный дискомфорт восприятия, так как зрительная система не приспособлена к мгновенной настройке на значительное рассогласование. Процесс настройки требует определённого времени и может сопровождаться неприятными ощущениями.

Одной из причин подобных ошибок при создании фильма является использование для визуальной оценки стереоизображения контрольных экранов малых размеров, на которых диапазон горизонтальных параллаксов оказывается резко уменьшенным. Это приводит к тому, что протяжённость воспринимаемой трёхмерной картины сокращается, а степень выхода в предэкранное пространство и рассогласование между аккомодацией и конвергенцией могут снизиться настолько, что ощущения зрительного дискомфорта не возникнет.

Сильный выход изображения объекта в предэкранное пространство должен быть подготовлен либо движением камеры на объект, либо движением объекта на камеру, либо предыдущим монтажным планом с выходящими в пространство зала изображениями объектов. Это следует принимать во внимание при формировании киностереопары в процессах съёмки, синтеза на компьютере, конвертации плоскостного изображения в стереоскопическое, а также в процессе монтажа.

• Монтаж короткими планами

Изображения на сетчатках левого и правого глаза не идентичны как в естественных условиях, так и при просмотре стереофильма. Раздельное рассматривание сопряжённых точек с различными горизонтальными параллаксами требует, в отличие от обычного плоскостного кино, постоянного изменения угла конвергенции, но сохранения, как в обычном кино, постоянного уровня аккомодации.

Обработка мозгом монокулярных и бинокулярных признаков глубины и рельефности в процессе восприятия стереоизображения производится более значительным количеством участков зрительной коры по сравнению с двумерным изображением [11]. Такая обработка требует более длительного времени. Практика показала, что для нормального восприятия общих планов их продолжительность должна быть в полтора – два раза больше по сравнению с плоскостным фильмом, а крупные планы и детали в подавляющем большинстве случаев воспринимаются достаточно комфортно, если они не короче четырёх секунд.

В последнее время производителей как обычных, так и трёхмерных фильмов захлестнула мода монтажа короткими и сверхкороткими планами, трудными для нормального стереовосприятия. И это вызывает нарекания

значительной части зрителей. Если продюсеры и режиссёры желают не отстать от моды при выпуске на экраны плоскостной версии, то должны предусматривать создание двух версий фильма, отличающихся друг от друга ритмикой монтажа и, возможно, различиями в композиционном построении отдельных планов.

• Неоправданно частое применение сверхкрупных планов

Модными стали также усечённые сверху и снизу крупные планы людей. Над головой нет «воздуха», подбородок часто оказывается за границей изображения. Такие крупные планы в стереофильме имеют право на существование и могут быть выразительными, если они оправданы драматургически и грамотно сняты. Но вошедший в моду и уже обосновавшийся в трёхмерном кинематографе приём усечения большинства крупных планов границами изображения явно обедняет спектр выразительных возможностей стерео [12]. «Старомодные» («воздухом») крупные планы в стереофильме, как правило, более выразительны. А урезанные композиции, далеко не всегда оправданные даже на плоскостном телеэкране, не позволяют вывести крупный план в пространство зала без эффекта отжимающего действия рамки.

Практика показала, что в сценах с людьми наиболее выразительны средние планы, которые позволяют сочетать пространственность композиции с рельефностью персонажей.

• Чрезмерная продолжительность стереофильма/стереокиносеанса

В течение сеанса зритель должен пользоваться стереочками, создающими определённое неудобство. Особенно это относится к зрителям, постоянно пользующимся корректирующими очками.

Многолетний опыт организации проката стереофильмов в нашей стране показал, что даже при высоком уровне организации стереокинопоказа часть зрителей отмечала усталость глаз. Поэтому продолжительность полнометражных отечественных стереофильмов составляла 70÷90 минут, а продолжительность сеанса (с учётом предварительной демонстрации короткометражного стереофильма) не превышала 100 минут.

В настоящее время продолжительность стереофильма не регламентируется (продолжительность фильма «Аватар» – 150 минут), а сеанс при этом ещё удлиняется за счёт рекламы, в том числе рекламы стереофильмов. Последняя подаётся в виде стереотрейлеров, сделанных, как правило, по шаблону рекламных трейлеров плоскостных фильмов с укороченными, трудно воспринимаемыми планами.

Следует учитывать, что уменьшенная по сравнению с плоскостным фильмом продолжительность стереофильма снижает общую нагрузку на зрительную систему и, как следствие, положительно влияет на отношение к трёхмерному кинематографу в целом.

• Низкое качество конвертации плоскостных фильмов в стереоформат

Техника создания второго, виртуального, ракурса съёмки и формирования искусственной стереопары позволяет осуществлять конвертацию обычного двухмерного киноизображения в стереоскопическое [13], практически не уступающее по качеству стереоизображению, полученному двухракурсной стереосъёмкой. Сложности, связанные с интерпозицией – частичным загороживанием более далёких объектов более близкими при формировании второго ракурса, успешно преодолеваются путём синтезирования участков сцены, которые в исходном ракурсе перекрыты более близкими объектами [14].

Одна из главных проблем создания конвертированной версии состоит в том, что в процессе съёмки обычного варианта создатели фильма, планируя создать также и стереоверсию, как правило, не задумываются о возможностях и выразительных средствах стереокинематографа. Особенности восприятия стереоизображения не учитываются как при съёмке, так и при монтаже. В результате при конвертации фильма в стереоверсию в большинстве случаев формируются указанные выше отрицательные факторы. По этой причине только в редких случаях изобразительная фактура фильма в стереоверсии больше приобретает, чем теряет. Желание выпустить стереоверсию фильма не всегда согласуется со стилистическими особенностями исходной плоскостной версии и часто определяется исключительно желанием реализовать это быстрее и дешевле. А это означает неизбежное снижение качества.

В то же время нельзя отрицать, что можно получить неплохой результат, если при съёмке моноварианта изначально предусматривать конвертацию в стереоформат. Но успешно реализовать это можно только при грамотном подходе ко всем стадиям производства, начиная со сценария и заканчивая монтажом. Однако фильм, изначально снятый в стереоварианте, всегда будет выразительнее и эффектнее по сравнению с конвертированной версией обычного фильма.

Есть ещё и такая проблема – в прокат выходят фильмы, заявленные как 3D, то есть как стереоскопические, в которых конвертирована только часть фильма, а остальное предьявляется зрителю в плоском двухмерном виде. Даже в стереоскопическом «Аватаре» часть планов – плоскостные. В отечественном прокате прошли американские 3D фильмы, в которых количество плоских планов превышало 80%! А зрители платили дополнительные деньги за то, что просидели сеанс в стереоочках. Подобное должно квалифицироваться как нарушение правил или как прямой обман потребителя. Это вовсе не означает, что в стереофильме не может быть плоскостных кадров. Концепция фильма может позволить использование всех выразительных возможностей: часть фильма может быть и чёрно-белой, и плоскостной. Но недопустимо низкое качество контента и прямой обман должны жёстко пресекаться.

При выпуске фильма на экраны кинотеатров зрители должны получать информацию во всех видах рекламы и в кассах кинотеатров о том, что данный 3D-фильм есть версия плоскостного фильма, полученная путём стерео-конвертации и именно в этих случаях должен указываться процент продолжительности плоскостного материала.

3. Факторы, влияющие на восприятие стереоизображения и формируемые в процессе театрального кинопоказа

Требования к организации стереокинопоказа, выполнение которых обеспечивает максимально комфортное восприятие объёмно-пространственной картины в условиях кинозала, имеют свою специфику и являются более жёсткими по сравнению с обычным кино и включают в себя ряд дополнительных параметров. Соответствующие стандарты пока не разработаны. Для плёночного кинематографа в нормативном документе РТМ 19-77-94 «Развитие и техническое оснащение киносети» от 1994 года (Приложение №2) предложен ряд рекомендаций по оборудованию кинотеатров для стереокинопоказа, а для цифрового есть только два документа [15, 16], формализующие требования к формату записи стереоскопического цифрового файла.

На качество и комфортность просмотра стереоскопического кинофильма влияет совокупность нескольких факторов. Прежде всего, это качество самого кинозала, которое определяется грамотностью архитектурного и технологического проектов, качеством инсталлированного оборудования, правильностью настройки всей аппаратуры, а также вид применяемой системы стереопроекции.

На этапе проектирования должны быть рассчитаны и определены основные параметры зрительного зала (расположение, размер, тип и форма киноэкрана, конфигурация зоны зрительских мест), проведены светотехнические расчёты, на основании которых определяются параметры и номенклатура необходимого технологического оборудования. При этом необходимо учитывать технологические особенности и ограничения, связанные с различными системами стереопоказа, некоторые из которых требуют применения направленных экранов, что требует дополнительного ограничения зоны зрительских мест для выполнения требований к равномерности яркости экранного изображения. При выборе размеров и типа киноэкрана следует учитывать необходимость обеспечения нужной воспринимаемой яркости изображения (при применении любой системы стереосепарации происходит многократное снижение яркости) и имеющиеся ограничения по величине светового потока современных кинопроекторов (как плёночных, так и цифровых).

Отдельного внимания требует проблема обеспечения качественного показа обычных и стереоскопических фильмов в одном универсальном кинозале. При переводе режима кинопоказа с обычного на стереоскопический и обратно необходимо изменение светового потока в 6–8 раз, чего нельзя достичь при использовании только одного

проектора. Подробно этот вопрос рассмотрен в [4]. При стереопросмотре в универсальном кинозале также должна быть ограничена зона зрительских мест, что впрочем легко решается методом ограничения продажи билетов на места, некомфортные для просмотра стереофильма.

Качество стереокинопоказа определяется тем же набором параметров, что и обычный показ, а также рядом дополнительных параметров, присущих только стереоскопическим технологиям. Часть параметров, общих для стерео и обычного кинопоказа, уже стандартизована и чётко определена в международных спецификациях [17] и в стандартах ISO [18, 19, 20]. При этом для цифрового кинопоказа обычных фильмов значения этих параметров достаточно жёсткие. Это касается таких параметров, как яркость экрана, равномерность распределения яркости, величина засветки экрана, цветность белого. При стереопоказе выдержать указанные в стандартах для обычного показа величины и допуски не всегда возможно из-за недостаточного уровня развития технических средств (недостаточная яркость), или в силу специфики стереотехнологий при применении различных систем сепарации и двухпроекторной схемы стереопроекции (равномерность яркости, засветка экрана, цветность). В настоящий момент представляется целесообразным для стереокинопоказа принять те же значения, что используются для обычного показа, но при этом расширить возможные допуски, предполагая в дальнейшем, по мере совершенствования технико-технологической базы, довести их до уровня обычных нормативов. Методы контроля и измерений в основном аналогичны применяемым для обычного кинопоказа, однако требуется разработать и создать специальные стереоскопические тест-фильмы.

В отдельную категорию должны быть выделены специфические стереоскопические параметры, связанные с отдельным предъявлением кадров стереопары для левого и правого глаза. Необходимо нормировать условия демонстрации (минимально допустимую частоту мельканий на экране, допустимый вертикальный параллакс, допустимое взаимное смещение боковых границ изображений экранной стереопары), допустимые отклонения идентичности изображений левого и правого ракурсов, допустимый уровень перекрёстных помех. Вышеприведённые параметры в основном аналогичны параметрам стереопары при съёмке и фильмопроизводстве, однако определяются факторами, имеющими другую специфику и природу и формирующимися при проекции вследствие применения различных методов сепарации и использования нескольких проекторов (например, в двухпроекторных системах показа).

При решении задачи количественной оценки факторов, влияющих на восприятие стереоизображения в процессе театрального кинопоказа, авторы столкнулись с недостаточностью или полным отсутствием как научно-теоретических разработок, так и экспериментально-практических данных по значительной части данной проблематики. Например, практически нет данных по ис-

кажению цветопередачи при использовании технологии цветовой сепарации с применением спектрально-интерференционных фильтров (системы Infitec и Panavision), а также исследований по восприятию изображений при временной сепарации с последовательным предъявлением изображений для левого и правого глаза с использованием одного проектора. Требуется проведение серьёзных научных и опытно-практических исследований с целью определения оптимальных и предельно допустимых значений для этих параметров, а также разработка аппаратных и программных методов и средств их контроля и измерения, в том числе специальных стереоскопических тест-фильмов. Дополнительные сложности создаёт необходимость проведения ряда приборных измерений с учётом изменения световых и спектральных характеристик светофильтрами стереочков.

Для удобства и наглядности параметры, определяющие качество стереокинопоказа, мы разделили на три функциональные группы: параметры зрительного зала, светотехнические и стереоскопические параметры.

• **Параметры зрительного зала (размеры и расположение экрана и зоны зрительских мест)** для стереоскопического кинопоказа определяются на стадии проектирования. По причине недостатка яркости или в силу специфики метода сепарации в стереоскопических системах часто применяются направленные экраны, поэтому зона размещения зрительских мест должна рассчитываться в зависимости от характеристик экрана (коэффициента усиления яркости и радиуса кривизны), исходя из обеспечения нормативов требуемой яркости и равномерности яркости для всех мест зрительской зоны. Чем больше направленность экрана, тем более жёсткие ограничения должны предъявляться к размерам и расположению зоны зрительских мест. В остальном требования к параметрам зрительного зала и методам их контроля остаются такими же, как и при обычном показе.

• **Светотехнические параметры стереокинопоказа** имеют свою специфику.

Одним из главных параметров, влияющих на качество кинопоказа, является яркость изображения на экране. Этот параметр определяется тремя составляющими: световым потоком проекционной системы (из одного или нескольких проекторов), размером и коэффициентом усиления яркости экрана и типом применяемой системы стереосепарации. Величина яркости для обычного кинопоказа нормирована и отражена в международных стандартах: $48 \pm 10,2$ кд/м² для цифрового показа и $55 \cdot 10^{+10}$ кд/м² для плёночного. Яркость стереоизображения, воспринимаемая зрителем в стереочках, должна иметь те же значения. Однако многократные потери яркости в системах сепарации и ограниченные световые потоки существующих проекторов не позволяют добиваться необходимых значений воспринимаемой яркости в залах с большими экранами, поэтому в качестве вре-

менной меры предлагается ввести расширенный снизу диапазон допустимых значений яркости.

На основании многолетнего опыта НИКФИ по оборудованию кинотеатров для стерекинопоказа в плёночных форматах принято допустимое нижнее значение яркости 25 кд/м^2 . Для цифрового показа предлагается оценить это значение, исходя из максимальной ширины применяемых на сегодня киноэкранов, равной 24 м, коэффициента усиления яркости экрана 2,4 (бóльшие значения приводят к недопустимому увеличению неравномерности яркости и уменьшению зрительской зоны) и двухпроекторной схемы с максимально мощными проекторами со световым потоком 33000 лм. Проведя вычисления по методике, изложенной в [21], с применением ряда корректирующих коэффициентов, получим значения $22 \div 31 \text{ кд/м}^2$ в зависимости от применяемой системы сепарации. Для экранов с коэффициентом усиления 1,8 получим значения $15 \div 24 \text{ кд/м}^2$. Исходя из приведённых расчётов и опыта плёночного стерекинопоказа, считаем целесообразным принять в качестве минимально допустимого значения яркости для цифрового стереопоказа величину 22 кд/м^2 , позволяющую при правильном проектном решении обеспечивать кинопоказ практически во всех кинотеатрах.

Равномерность распределения яркости экрана должна иметь такие же значения, как и для обычного показа, но, учитывая необходимость применения высоконаправленных экранов, целесообразно рассмотреть возможность некоторого расширения допуска для нижних значений.

В силу специфики применяемых систем сепарации, которые дополнительно увеличивают рассеяние светово-

го пучка и вносят цветовые искажения, такие параметры, как засветка экрана и цветность белого, должны иметь больший диапазон значений, чем при обычном показе.

Светотехнические параметры стерекинопоказа, подлежащие стандартизации, представлены в таблице 2.

• Стереоскопические параметры кинопоказа определяют допустимую разницу для изображений левого и правого ракурсов стереопары, возникающую в процессе проекции фильмокопии на киноэкран и вызванную специфическими особенностями различных систем и методов стереоскопической сепарации.

В настоящее время в театральном стерекинопоказе используется несколько различных принципов и способов сепарации [21], а в цифровой технологии, кроме того, могут применяться ещё и две различные схемы кинопроекции — одновременная (с использованием двух проекторов для синхронного предъявления левого и правого изображений стереопары) и поочерёдная (с использованием одного проектора или двух, работающих синфазно) с последовательным предъявлением чередующихся левого и правого изображений стереопары. Эти технологические особенности порождают ряд дополнительных факторов, влияющих на качество восприятия стереоизображения.

Применяемые методы спектральной сепарации вызывают нарушение идентичности изображений левого и правого ракурсов по таким параметрам, как яркость и цветность. При использовании схемы с двумя проекторами дополнительно нужно контролировать разницу в резкости, масштабе и степени геометрических искажений.

Табл. 2. Светотехнические параметры стерекинопоказа

№№ п/п	Наименование параметра	Значение	Метод контроля
1	Яркость экрана	такое же, как для обычного кинопоказа, с расширенным допуском: $55_{-30}^{+10} \text{ кд} / \text{м}^2$ для плёночного; $48_{-26}^{+10,2} \text{ кд} / \text{м}^2$ для цифрового	такой же, как для обычного кинопоказа, с замером после фильтра стереочков, производится отдельно для каждого из двух каналов стереопроекции
2	Равномерность распределения яркости экрана	такое же, как для обычного кинопоказа, с расширенным допуском для нижнего значения	такой же, как для обычного кинопоказа, с замером после фильтра стереочков, производится отдельно для каждого из двух каналов стереопроекции
3	Засветка экрана	требует дополнительных исследований	такой же, как для обычного кинопоказа
4	Цветность белого	такое же, как для обычного кинопоказа, с расширенным допуском	такой же, как для обычного кинопоказа, с замером после фильтра стереочков, производится отдельно для каждого из двух каналов стереопроекции

Перекрытые помехи могут возникать по разным причинам в зависимости от принципа сепарации, качества и степени изношенности элементов, обеспечивающих сепарацию, правильности настройки оборудования и могут очень существенно влиять на комфортность восприятия. Для определения допустимых величин по этому параметру необходимо проведение специальных исследований. Особенно это касается помех, связанных с применением технологии временной сепарации и специфическими особенностями методов цветовой сепарации, использующих психофизиологический механизм бинокулярного смешения цветов. Научных публикаций, посвящённых исследованию этих вопросов, практически нет. Технология временной сепарации с поочерёдным предъявлением левого и правого изображений стереопары также требует дополнительных исследований, в том числе в части, касающейся определения необходимой минимальной частоты предъявления изображений стереопары.

Психофизиологический механизм поочерёдного восприятия ракурсов стереоизображения, когда в каждый момент времени изображение видит только один глаз, требует дополнительного изучения, однако внедрение и развитие этой технологии идёт в режиме непосредственного эксперимента на зрителях, для части которых мелькания заметны и становятся причиной дис-

комфорта [9]. В плёночном обычном кинематографе и в плёночном стереокинематографе при частоте кадров 24 кадр/с частота мельканий за счёт дополнительной обтюрации составляет 48 с^{-1} . При цифровой стереопроекции с временной сепарацией фильм, отснятый с частотой 24 стереопары/с, демонстрировался методом последовательного поочерёдного предъявления кадров стереопары первоначально с общей частотой мельканий 48 с^{-1} (каждый глаз с частотой 24 с^{-1} поочерёдно видит изображение в течение $1/48$ секунды, затем в течение $1/48$ секунды тёмная пауза и т.д.). При таком режиме демонстрации мерцания были очень заметны и общую частоту мельканий увеличили вдвое путём двойного повторения каждого кадра — суммарно 96 с^{-1} для двух глаз. В процессе эксплуатации было выявлено, что этого также недостаточно и частота мельканий была увеличена до 72 с^{-1} для каждого глаза при общей суммарной частоте мельканий 144 с^{-1} . Однако для части зрителей и такой режим проекции не является достаточно комфортным, поэтому считать проблему окончательно решённой, возможно, преждевременно.

Вертикальные параллаксы (как уже отмечалось выше) при взаимном вертикальном смещении кадров стереопары негативно влияют на комфортность восприятия при кинопоказе. Для цифрового показа возможно совмещать

Табл. 3. Стереоскопические параметры стереокинопоказа

№№ п/п	Наименование параметра	Значение	Метод контроля
1	Идентичность изображений левого и правого ракурсов – яркость; – цветность; – масштаб; – резкость; – разрешающая способность; – геометрические (проективные) искажения	требует дополнительных исследований и разработки	по тест-фильму (требует разработки)
2	Перекрытые помехи	требует дополнительных исследований и разработки	по специальному тест-фильму (требует разработки)
3	Частота мельканий изображений на экране	для плёночного кинопоказа: не менее 48 мельканий стереопары в сек; для цифрового кинопоказа с временной сепарацией и поочерёдным предъявлением кадров стереопары: не менее 72 мельканий в сек. для каждого глаза (при общей частоте мельканий 144 с^{-1})	проверка соответствия спецификации или стандарту
4	Вертикальный параллакс	не более 0,2% от высоты изображения	по тест-фильму
5	Взаимное смещение боковых границ изображений экранной стереопары	не более 0,1% от ширины изображения	по тест-фильму (требует разработки для цифрового показа)

изображения с двух проекторов с точностью до пикселя, для плёночного показа точность совмещения зависит от используемой системы и характеризуется величиной, не превышающей 0,2% от высоты изображения.

Изображения двух ракурсов стереопары должны быть максимально совмещены на экране как по горизонтали, так и по вертикали. Стереоскопические параметры кинопоказа, подлежащие стандартизации, представлены в таблице 3.

Для обеспечения высококачественного стереокинопоказа вышеприведённые параметры должны быть нормированы, однако для определения конкретных величин необходимо проведение дополнительных исследований. Контроль большинства из этих параметров может выполняться по методикам, аналогичным применяемым для обычного кинопоказа с учётом необходимости проведения приборных замеров через светофильтры зрительских очков. Отдельной задачей является необходимость разработки специальных стереоскопических тест-фильмов, с помощью которых должны выполняться все необходимые

измерения. Сейчас для цифрового показа часть настроек выполняется по тестовым изображениям, «вшитым» в проектор или сервер, но методологически это не является правильным, так как тесты отличаются у разных производителей оборудования, имеют ограниченные функциональные возможности и не обеспечивают возможности проверки всей технологической цепочки. Для плёночной стереопроекции существуют специальные тест-фильмы, однако, как и в случае цифрового показа, они не позволяют проводить весь комплекс измерений и контролировать все необходимые параметры.

Часть факторов и параметров требуют серьёзного изучения как с точки зрения законов психофизики, так и с точки зрения технологических возможностей современной техники. Кроме этого для принятия взвешенных и обоснованных решений разрабатываемые нормативы, стандарты и методы контроля должны пройти широкое обсуждение в рамках всего заинтересованного кинотехнического сообщества. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Рожкова Г.И., Васильева Н.Н. Сравнительные трудности восприятия фильмов в 2D- и 3D-форматах. Материалы и доклады: Вторая научно-техническая конференция, Москва, 22–23 апреля 2010 г. М.: МКБК, с. 9–25, 2010.
2. Рожкова Г.И., Васильева Н.Н., Рожков С.Н. Фузионные способности человека и возможности расширения диапазона параллакса в стереофильмах без нагрузки на зрительную систему. МТК № 12, с. 11–15, 2009.
3. Рожков С.Н. Восприятие стереокиноизображения и организация стереопроекции в проектируемых и переоборудованных кинозалах. Материалы и доклады: Научно-техническая конференция, Москва, 23–24 апреля 2009 г. М.: МКБК, с. 87–102, 2010.
4. Рожков С.Н., Чекалин Д.Г. Специальные требования к цифровому стереокинопоказу и возможности улучшения его качества. МТК № 17, с. 17–24, 2010.
5. РТМ 19-77-94. Развитие и техническое оснащение киносети. М. Комитет Российской Федерации по кинематографии, 1994.
6. Шацкая А.Н. Основы стереофотокиносъёмки. М.: Искусство, 1983.
7. Щечкочихин В.С. Об особенностях процесса бинокулярного восприятия пространства в стереоскопическом кинематографе // Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии, Т. 9, Вып. 4, 1964.
8. Рожков С.Н., Овсянникова Н.А. Стереоскопия в кино-, фото-, видеотехнике. Терминологический словарь. М.: Парадиз, 2003.
9. Васильева Н.Н. Формирование механизмов пространственного зрительного восприятия в онтогенезе. Докторская диссертация. Чебоксары: Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, с. 269–276, 2012.
10. Васильева Н.Н., Рожкова Г.И., Рожков С.Н. О пользе и вреде современных технологий формирования стереокиноизображений для людей с различным состоянием зрительных функций. МТК № 19, с. 7–15, 2011.
11. Рожкова Г.И., Алексеенко С.В. Зрительный дискомфорт при восприятии стереоскопических изображений как следствие непривычного распределения нагрузки на разные механизмы зрительной системы. МТК № 21, с. 12–21, 2011.
12. Дауров И.Г. Отрицательные стороны пластики и приёмов съёмки в современном стерео (3D) кино и пути преодоления данной проблемы. МТК № 21, с. 27–32, 2011.
13. Хетлерович С.Д. Конвертация видеоматериалов в стереоформат — особенности, возможности и ограничения. МТК № 16, с. 9–11, 2010.
14. Комар В.Г., Озеров С.И. О перспективах создания безочковых систем кинотеатрального кинематографа с трёхмерным изображением. МТК № 12, с. 8–10, 2009.
15. Digital Cinema Initiatives, LLC, Stereoscopic Digital Cinema Addendum, Version 1.0, July 11, 2007.
16. ISO 26429-10:2009. Digital cinema (D-cinema) packaging -- Part 10: Stereoscopic picture rack file.
17. Digital Cinema Initiatives, LLC, Digital Cinema System Specification, Version 1.2, March 07, 2008.
18. ISO 2910:2007. Cinematography -- Screen luminance and chrominance for the projection of motion pictures.
19. ISO 26431-1:2008. Digital cinema (D-cinema) quality -- Part 1: Screen luminance level, chromaticity and uniformity.
20. ISO 26428-1:2008. Digital cinema (D-cinema) distribution master -- Part 1: Image characteristics.
21. Рожков С.Н., Чекалин Д.Г. О специальных требованиях к демонстрированию стереофильмов в кинотеатрах и целесообразности стандартизации основных параметров цифровой стереокинопроекции, определяющих её качества. Материалы и доклады: Вторая научно-техническая конференция, Москва, 22–23 апреля 2010 г. М.: МКБК, с. 138–158, 2010.



ШИРОКОЭКРАННЫЕ СИСТЕМЫ КИНЕМАТОГРАФА

Н.А. Майоров,
режиссёр-оператор,
киновед,
член Международной
Федерации
журналистов



■ С первых лет своего существования кинематограф пытался вырваться из классического формата кадра, раздвинуть его границы.

Пионеры кинематографа понимали, что, увеличив размер экрана по высоте, для создания иллюзии большей реальности изображения и приближения кинозрителя к привычным для него условиям восприятия картинки окружающего мира, необходимо также изменить пропорции экрана в сторону увеличения его ширины.

СИСТЕМЫ С КАШИРОВАННЫМ КАДРОМ

Способ кашированного кадра является наиболее простой системой широкоэкрannого кинематографа. Этот способ позволяет использовать весь парк съёмочной аппаратуры и всю линейку оптики, применяемую в обычном кинематографе, а также даёт возможность без дополнительных затрат, не изменяя технологический цикл производства кинофильма, получить широкоэкрannое изображение. При этом расходы на переоборудование кинотеатров незначительны.

Способ кашированного кадра основан на уменьшении высоты обычного кадра на 35-мм киноплёнке до получения отношения ширины к высоте экрана от 1.66:1 до

2:1. Для получения таких соотношений размер проецируемого изображения в кадре будет, соответственно, от 20,7x12,5 мм до 20,7x10,35 мм.

Проекция полученного изображения производится на экран, расширенный до необходимых пропорций, с заменой проекционного объектива на короткофокусный.

24 апреля 1953 года кинокомпания «Paramount» выпустила на экран вестерн режиссёра Джорджа Стивенса (George Stevens) и оператора Лойала Григгса (Loyal Griggs) «SHANE» (Шэйн). Этот фильм был снят в обычном формате, но на больших экранах был показан с подрезанным верхом и низом кадра с отношением ширины к высоте 1.66:1.

Киностудии Голливуда начали искать способы увеличения ширины изображения, не применяя при этом нового дорогого оборудования. Для этого они изучали свои ещё не выпущенные или уже демонстрировавшиеся ранее фильмы, чтобы определить, насколько можно подрезать кадр по высоте, чтобы получить широкоэкрannое изображение, не разрушая композицию кадра.

В результате этих работ появилось несколько вариантов пропорций кашированного кадра.



Кадр из кинофильма «Shane» (Шэйн) (1953)

Киностудии «Walt Disney Pictures» и «Metro-Goldwyn-Mayer» начали обрезать изображение до соотношения ширины к высоте 1.75:1. При таком «обрезании» достигался некий компромисс с композицией оригинального 1.37:1 кадра.

Установленное кинокомпаниями «Universal-International» и «Columbia Pictures» соотношение 1.85:1 при подрезании кадра в старых фильмах создавало проблемы с исчезновением лбов и подбородков на крупных планах, также приходилось переснимать титры. Поэтому такое соотношение стали использовать только для вновь снимаемых фильмов.

Киностудия «Warner Bros.» при съёмке новых фильмов установила соотношение сторон 1.85:1.

Таким образом, были определены основные пропорции для производства широкоэкранных фильмов по системе кашированного кадра: 1.66:1, 1.75:1 и 1.85:1.

Соотношение 1.85:1 стало основным в американском кинопроизводстве. Европейские кинопроизводители выбрали соотношение 1.66:1. Несколько лет спустя и европейский кинематограф принял соотношение 1.85:1 «де-факто» для широкоэкранных фильмов, снятых сферической оптикой.

Интересно, что в СССР начало применения кашированного кадра было связано с экспериментами в области стереофонического звука в кино. Так, в 1949 году в Москве прошла первая экспериментальная демонстрация широкоэкрannого стереофонического фильма, звук для которого был записан на аппаратуре, разработанной под руководством П.Г. Тагера.

В советской кинематографии были приняты общепринятые стандарты кашированного кадра с отношением

ширины к высоте от 1.66:1 до 1.85:1. Производство отечественных фильмов с кашированным кадром началось в 1966 году, было снято более двухсот игровых, документальных и научно-популярных фильмов.

В кинопроизводстве применяются два вида кашированного кадра: с явным и скрытым кашированием, или «жёсткое каше» и «мягкое каше».

Явное каше

Для съёмки по этому методу производится замена кадровой рамки съёмочного аппарата на рамку с соотношением сторон от 1.66:1 до 1.85:1. Съёмка по системе явного каширования позволяет во время съёмки жёстко компоновать кадр и не бояться нарушения его композиции при проекции на экран.

Скрытое каше

При съёмке с «мягким каше» экспонируется полный кадр, соответствующий размерам, принятым в системе обычного кинематографа. Для правильной компоновки широкоэкрannого кадра в визире кинокамеры делают разметку в соответствии с принятым соотношением сторон кадра. В то же время оператор должен учитывать возможность показа фильма в некашированном варианте и следить за тем, чтобы в кадр не попадали части декораций, микрофоны, освещение и прочее. По этой системе процесс каширования осуществляется во время проекции путём установки соответствующей формата кадровой рамки в кинопроекторе.

В настоящее время чаще всего применяется скрытое каширование, обеспечивающее возможность демонстрации фильма в широкоэкрannом варианте в кинотеатре и в обычном – по телевидению.

При съёмке такого фильма верхняя граница кашированного кадра всегда находится на постоянном расстоянии от верха полного, не кашированного кадра, что обеспечивает правильную зарядку плёнки при проекции.

Простота систем кашированного кадра имеет и отрицательную сторону. Известный советский учёный-кинетехник Е.М. Голдовский выделил следующие основные недостатки и причины их появления в данных системах широкоэкрannого кинематографа: «Рост линейного увеличения при показе кинофильмов с кашированным кадром на широкий экран приводит к ухудшению резкости и увеличению зернистости киноизображений, а также к большей



Кадр из кинофильма «Gone With The Wind» (Унесённые ветром): слева – оригинальный формат кадра (1.37:1); справа – широкоформатный вариант (2.21:1) повторного выпуска на экран в конце 50-х годов XX века. В 1954 году этот фильм выпускался в прокат повторно в широкоэкрannом варианте по системе «CinemaScope» с соотношением сторон 2.35:1



«Явное каше». Кадр из кинофильма «Déjà vu» (Дежа Вю) (1988)

неустойчивости последних в процессе демонстрирования. Эта же причина обусловит заметность царапин, трещин и пятен на фильмокопии, особенно бывшей в эксплуатации».

Сегодня, несмотря на эти недостатки и в связи с заметным улучшением качества киноплёнки в 70–80 годах XX века, большинство фильмов снимаются сферической оптикой на 35-мм киноплёнке для демонстрации на широкий экран с соотношением сторон 1.85:1.

СИСТЕМЫ С АНАМОРФИРОВАННЫМ КАДРОМ

В 1897 году немецкий физик-оптик Эрнест Карл Аббе (Ernest Karl Abbe) разработал оптическую систему «Анаморфоте» (Анаморфот), сжимающую или растягивающую изображения в одной плоскости и ставшую основой разработки широкоэкранных анаморфотных систем кинематографа в XX веке.

На основе работ Эрнеста Аббе в 1927 году французский физик Анри Кретьен (Henri Chrétien) сконструировал анаморфотную оптическую систему «Нупергонар» (Гипергонар) с коэффициентом анаморфирования 2:1.



Анри Кретьен демонстрирует анаморфотную оптическую систему «Нупергонар»

Принцип съёмки и проекции широкоэкранный фильма с использованием анаморфотной оптики состоит в том, что во время съёмки изображение сжимается по горизонтали в соответствии с коэффициентом анаморфирования, равном 2, а во время проекции на экран растягивается с тем же коэффициентом.

По этой системе в 1929 году во Франции был снят первый в мире широкоэкранный фильм с анаморфированным кадром – «CONSTRUIRE UN FEU» (Возникновение огня). Премьера фильма прошла в Париже 20 мая 1930 года. Начиная с 5 декабря 1930 года, этот игровой фильм по рассказу «To Build a Fire» Джека Лондона (Jack London) больше трёх

Характеристики системы «Нупергонар»

Размер киноплёнки в мм	35
Размер кадра негатива в мм	25.4x19.05
Шаг кадра в мм	19
Шаг перфорации в мм	4,75
Размер перфораций в мм	1,98x2,8
Соотношение сторон кадра	1.33:1
Коэффициент анаморфирования	2
Соотношение сторон экрана	2.66:1

месяцев демонстрировался в одном из парижских кинотеатров.

По некоторым данным, в немецко-французском игровом фильме «La merveilleuse vie de Jeanne d'Arc» (Чудесная жизнь Жанны д'Арк) (Германия/Франция, Rapid Film / Pathe-Natan, 1929, ч/б, 125 мин., 35 мм, немой. Режиссёр Марко де Гастин (Marco de Gastyne) отдельные эпизоды были сняты в широкоэкранный вариант по системе «Нупергонар».

С мая по ноябрь 1937 года на Всемирной выставке в Париже (Paris International Exposition) во французском павильоне «Дворец света» (Le palais de la Lumière) на экране с соотношением сторон 5.3:1 демонстрировался видовой фильм. Проекция производилась двумя синхронно связанными 35-мм кинопроекторами с анаморфотными насадками с коэффициентом анаморфирования 2:1. Звуковая фонограмма была записана на третьей плёнке и синхронизировалась с проекцией.

Но в начале 30-х годов двадцатого века время широкоэкранный кинематографа ещё не пришло. Слабый световой поток кинопроекторов не мог обеспечить приемлемое качество освещённости широкого экрана, а приход звука и цвета обеспечил посещаемость кинотеатров и, как следствие, – нежелание владельцев кинотеатров тратить на их переоснащение.

Звёздный час наступил в начале 50-х годов. У кино появился мощный конкурент – телевидение, опустошавший кинозалы и, соответственно, карманы кинопредпринимателей.

В конце 40-х годов появилась многослойная цветная киноплёнка, не требующая специальной камеры для съёмки цветного фильма, были разработаны кинопроекторы с большей световой мощностью, появилась магнитная запись звука. Все эти достижения и были соединены вместе для борьбы за кинозрителя.

Первый удар был нанесён 30 сентября 1952 года демонстрацией первого панорамного фильма «This is Cinegama» (Это синерама) на широком гигантском экране с семиканальным стереофоническим звуком (см. Панорамные системы кинематографа в МТК №4 (22), 2011). Успех нового киночуда был очевиден, как и очевидны трудности производства и демонстрации панорамных фильмов по трёхплёночному методу. Стало ясно, что нужны огромные материальные средства и новый парк съёмочной и проекционной аппаратуры, да ещё значительная перестройка кинозалов. Необходимо было разработать такую систему кинематографа, которая обеспечивала эффект участия, как в панорамном кино, но использовала бы основные технологические процессы и аппаратуру, применяемую в обычной кинематографии, а также позволяла при небольшой модернизации использовать помещения обычных кинотеатров с расширением экранов в два раза.

Как было сказано выше, самой простой системой для реализации широкоэкранный кинематографа на практике является система кашированного кадра. Но, как

было отмечено, технические характеристики данной системы и киноплёнка того времени не могли обеспечить высококачественную демонстрацию на экране даже с соотношением сторон 1.85:1.

Разработчики «вспомнили» об Анри Кретьене (Henri Chrétien) и о его системе «Hypergonar» (Гипергонар).



CinemaScope® (Синемаскоп)

В начале 50-х годов XX века первой системой широкоэкранного кинематографа, основанной на принципе анаморфированного изображения и положившей начало его массового внедрения в кинопроизводство, стала система «CinemaScope» (Синемаскоп). Система была разработана кинокомпанией «20th Century Fox».

Для съёмки фильмов по системе «Синемаскоп» используется стандартная 35-мм негативная киноплёнка и обычная 35-мм кинокамера, перед объективом которой устанавливалась анаморфотная насадка с коэффициентом анаморфирования 2:1. Однако размер кадровой рамки в кинокамере увеличен с 22х16 мм до 23,8х18,67 мм. При проекции такого кадра на экран с коэффициентом анаморфирования 2:1 соотношение сторон на экране составляет 2.55:1.

Одновременно были разработаны и использовались два способа изготовления фильмокопий по системе «Синемаскоп».



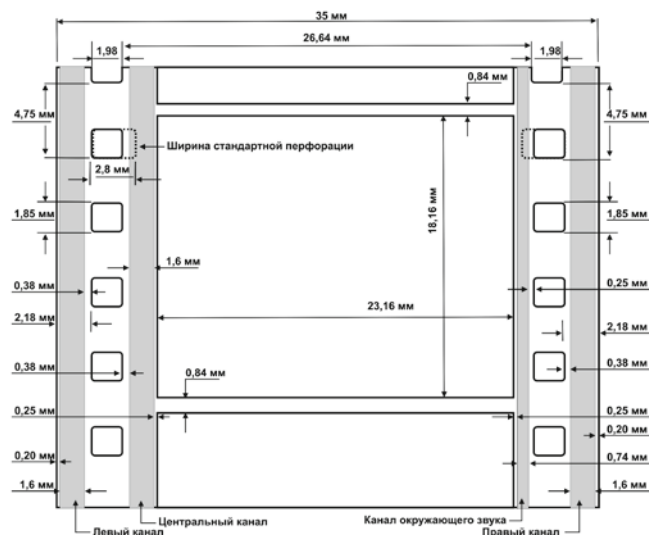
а)

б)

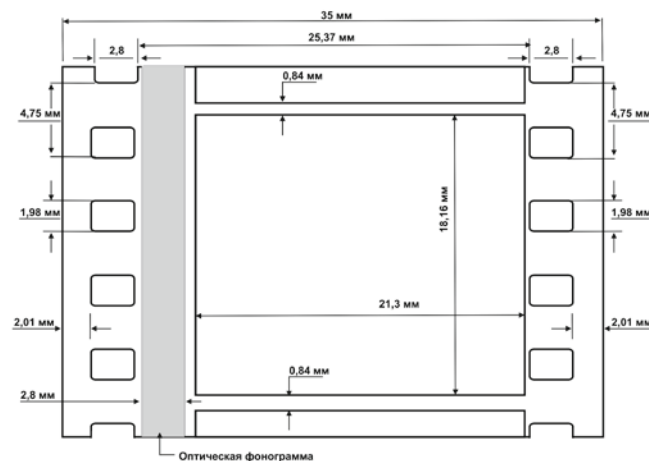
Два варианта широкоэкранной копии кинофильма «The Robe» (Плащаница) (1953): а) 35-мм копия со стереофонической четырёхканальной магнитной фонограммой; б) 35-мм копия с монофонической одноканальной оптической фонограммой

ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ ШИРОКОЭКРАННЫХ ФИЛЬМОКОПИЙ ПО СИСТЕМЕ «CINEMASCOPE»

В первом способе «Синемаскоп» фильмокопия печаталась на 35-мм плёнке, перфорационные отверстия которой несколько меньше, чем на стандартной плёнке: 1,85х1,98 мм вместо 1,98х2,8 мм. Таким образом, сохраняя увеличенный размер кадра 23,16х18,16 мм, появляется возможность разместить на позитивной копии четыре магнитные дорожки для записи стереофонической фонограммы: три шириной 1,6 мм; одна шириной 0,74 мм. Стереофоническая система «Синемаскоп» обеспечивает звучание четырёх каналов – левого, центрального, правого и канала эффектного звука, который воспроизводился позади зрителя.



35-мм фильмокопия с четырёхканальной стереофонической магнитной фонограммой



35-мм фильмокопия с монофонической оптической фонограммой

Печать фильмокопий со стереофонической магнитной фонограммой требует дополнительных операций и оборудования. К обычному процессу получения фильмокопии, состоящего из печати и проявки позитивной плёнки, прибавились ещё два процесса. Так как позитивная киноплёнка не имеет магнитного слоя, то он наносится на уже проявленный позитив, а затем производится электромагнитная запись фонограмм. Понятно, что это удорожает и удлиняет срок производства стереофонических фильмокопий. Но стереофоническое звуковоспроизведение в начале 50-х годов прошлого века, не доступное телевидению, обеспечивало значительно более высокое качество звука и делало новую систему кинематографа ещё более привлекательной для кинозрителя.

Второй способ «Синемаскоп» отличается от первого наличием только одной стандартной монофонической оптической фонограммы. Фильмокопия печатается на 35-мм киноплёнке со стандартными размерами перфораций.

Продолжение следует