

Мир Кино

ТЕХНИКИ

АПРЕЛЬ-ИЮНЬ | 16-2010 |

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ | ОАО «НИКФИ» | ООО «ИПП «Куна» | Подписной индекс: 81923 в каталоге Роспечати

ВОСПРИЯТИЕ
фильмов 2D И 3D формата

СТАНДАРТИЗАЦИЯ
в кинематографии

НЕЙРОННЫЕ
МЕХАНИЗМЫ
стереовосприятия

КОНВЕРТАЦИЯ
ВИДЕОМАТЕРИАЛОВ
В СТЕРЕОФОРМАТ
особенности, возможности
и ограничения

Впервые в мире!

МНОГОРАКУРСНАЯ
ЦИФРОВАЯ ВИДЕОСЪЁМКА
БЕЗОЧКОВЫЙ СТЕРЕОПОКАЗ



стр. 2

№ 16 СОДЕРЖАНИЕ

Новости, обзоры

Выставки и конференции 2

Стандарты

Стандартизация в кинематографии:
современное состояние, задачи и направление развития 5

Доклады

С. Хетлярович
Конвертация видеоматериалов в стереоформат –
особенности, возможности и ограничения 9

Вопросы теории

Г.И. Рожкова, Н.Н. Васильева
Сравнительные трудности восприятия фильмов в 2D и 3D форматах 12

Н.Н. Васильева, Г.И. Рожкова
Особенности бинокулярного зрения детей в разном возрасте
и необходимость их учёта при создании детских стереофильмов 19

А.Е. Белозёров
Нейронные механизмы стереовосприятия: норма и распространённые нарушения 25

Мастер-класс, семинары, новости SMPTE, отзывы

Л.Г. Лишин
Цифровые программы на большом и малом экране 32

В.А. Сычёв, С.А. Лобастов
Методы анализа структурных характеристик киноизображений 36

Страницы истории кино

Н.А. Майоров
Цветной кинематограф 40



стр. 12



стр. 40

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
Верстка и дизайн:
Копошилова Мария Васильевна
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»
Ковалевская Н.С., к.т.н., ОАО «НИКФИ»
Перегузов А.Ф., к.т.н., СПбГУКиТ
Блохин А.С., к.т.н., ОАО «НИКФИ»
Лишин Л.Г., д.т.н., ВНИИТР
Барский И.Д., к.т.н., ОАО «Кинотехника»
Одинокоев 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 «Типография ПАРАДИЗ»
Объём 6 п.л. Заказ № 974.
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 не всегда совпадает со взглядами авторов статей.

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



Выставки и конференции



25 марта 2010 г. в ОАО «НИКФИ» состоялся Круглый стол на тему: «Стандартизация в кинематографии: современное состояние, задачи и направление развития».

Участие в Круглом столе приняли специалисты ОАО «НИКФИ», ФГУП «ОП НИКФИ», ФГУП Киноконцерн «Мосфильм», СПбГУКиТ, Госфильмофонда РФ, РГАКФД, Гостелерадиофонда, Кинокомпании SVA, ОАО «Кинопроизводственная мастерская», ЗАО НИКФИ, НИЦ РИТ, ФГУП НИИ Радио, ООО группа Джерси, ЗАО «КИНЕМА ПАРК», «Каро-фильм», Компания SONY, ОАО «Кинотехника», ЗАО «НЕВАФИЛЬМ», ВНИИТР, ООО «Кинопроект».

Выступления участников читайте на стр. 5–8.

07 апреля в московском Доме кино Movie Research Company организовала и провела Круглый стол на тему: «Общественные организации кинематографии России: к повышению эффективности их деятельности».



21 апреля состоялось подведение итогов ежегодного Конкурса на лучшую научную публикацию в журнале «Мир техники кино». Дипломы и грамоты победителям конкурса вручались 28 апреля в Центре международной торговли на 7-ой выставке услуг кино- и телепроизводства CPS (стр. 4).



22–23 апреля в Москве, в МКБК прошла вторая научная конференция на тему: «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других отраслях».



Открытие конференции в МКБК: О. Раев, А. Волков, В. Перепечай



Разработчики стереокамеры: Бердников Е.Г., Борисов Е.Н., Козлов Н.А.



Обсуждения и дискуссии в перерыве конференции

Организаторы конференции – ФГУП «Московское конструкторское бюро киноаппаратуры», ОАО «Научно-исследовательский кинофотоинститут», Санкт-Петербургский государственный университет кино и телевидения, Московский киноvideоинститут, при поддержке Министерства культуры Российской Федерации, Союза кинематографистов России, Российской секции научного общества инженеров кино и телевидения (SMPTE). Материалы конференции читайте в этом и в следующем номерах журнала МТК.

27–29 апреля в Центре международной торговли в г. Москве прошла 7-ая специализированная выставка услуг кино- и телепроизводства (CPS – Cinema Production Service-2010) в формате b2b (бизнес-для-бизнеса). Программа выставки была насыщена семинарами, конференциями и мастер-классами, посвящёнными 3D технологиям.

Специалистами компании JC System Integration был установлен небольшой стереозал. Посетители выставки могли увидеть 3D-контент, полученный с помощью инновационного метода производства стерео. Технология «нейрооптического параллакса» позволяет перевести двумерное изображение в 3D, за счёт чего значительно упрощается процесс производства, и сокращаются расходы. Насыщенной была и деловая программа выставки. Компанией JC System Integration совместно с Feel Systems, сообществом FCPUG, компанией Risk Reduction Management и образовательным центром Scream School было организовано мероприятие StereoMeet – Встреча 3D-профессионалов.

Это первое в России ежегодное мероприятие, посвящённое различным аспектам производства стерео. Мероприятие было условно разделено на три блока. Первый блок «Введение в стерео и съёмочный процесс» включил две презентации специалистов компании JC

System Integration. Во втором блоке, посвящённом технологиям пост-производства стереоконтента, прозвучали два доклада. Об особенностях построения рабочего процесса при монтаже стерео, а также технических требованиях к различным системам монтажа, графики и цветокоррекции рассказал Михаил Филяев, менеджер проектов компании Feel Systems. В третьем, заключительном блоке StereoMeet «Практический опыт и пер-

спективы развития на российском рынке» были представлены особенности применения 3D-технологий на практике. В первом докладе блока Александр Рубин, руководитель компании «Кинопроект», описал подробную статистику распространения стереопоказа в России и в мире, перспективы развития 3D кинотеатрального бизнеса, в том числе, возможности адаптации 3D для просмотра дома.



На 7-ой специализированной выставке услуг кино- и телепроизводства CPS

18-20 мая на ВВЦ в Салоне «Комплексная безопасность 2010» состоялся показ многоракурсного экспериментального стереофильма, снятого впервые в мире многообъективной цифровой стереокамерой по технологии, разработанной в ОАО «НИКФИ».



С 7 по 9 июня 2010 г. в Москве в гостинице «Президент отель» проходила работа очередного 21-го Пленарного заседания Технического Комитета 36 «Кинематография» Международной организации по стандартизации (ИСО/ТК36 «Кинематография»). ОАО «НИКФИ», при финансовой поддержке Министерства культуры Российской Федерации выполнял функции принимающей стороны по организации, подготовке и проведению этого заседания.

Участниками заседания были делегации стран Великобритании, Канады, Китая, США, России, Южной Кореи - действительные члены ИСО.

В первый день Пленарного заседания 7 июня секретарь ТК 36 П. Саймс (США) приветствовал всех собравшихся и предоставил слово заместителю директора Департамента кинематографии Министерства культуры РФ Кал-

листову И.А., который обратился к участникам заседания и зачитал приветствие Министра культуры А.А. Авдеева.

Председателем 21-го заседания ТК 36 был избран Д. Пинн (Великобритания).

Обсуждение документов проходило по 33 международным стандартам в четырёх рабочих группах.

На заседании был сделан ряд важных предложений от ОАО «НИКФИ» (Россия) по разработке новых международных стандартов ИСО:

- Параметры записи стереопар для кинотеатрального кинематографа.
- Система показателей качества кинопоказа. Номенклатура показателей.

Материалы заседания читайте в следующем номере журнала. ■



Участники 21-го Пленарного заседания Технического Комитета 36 «Кинематография» Международной организации по стандартизации (ИСО/ТК36 «Кинематография») в Москве

НАГРАЖДЕНИЕ ПОБЕДИТЕЛЕЙ КОНКУРСА МТК



А.Ю. Жердев



Руководитель
С.Б. Одинок



М.Д. Хорунжий



С.Б. Бирючинский



Руководитель
Г.В. Тихомирова

21 апреля в редакции МТК состоялось подведение итогов ежегодного Конкурса на лучшую научную публикацию в журнале «Мир техники кино» за 2009 год.

На Конкурс было представлено 12 работ. Члены оргкомитета оценивали работы по пятибалльной системе. В результате проведённых подсчётов и обсуждений было принято решение присудить:

Диплом 1-ой степени – А.Ю. Жердеву (МГТУ им. Н.Э. Баумана) за работу «Пространственно-частотный спектральный анализ и оптико-электронный спектроанализатор для контроля подлинности защитных голограмм» (руководитель С.Б.Одинок);

Диплом 2-ой степени – С.Б. Бирючинскому (ИТМО) за работу «Киносъёмочные стереообъективы высокой чёткости» (руководитель Г.В.Тихомирова);

Диплом 3-ей степени – М.Д. Хорунжему (СПбГУКиТ) за работу «Анализ искажений цветопередачи экранных изображений посредством пространственного приложения модели LAB» (руководитель Г.В.Тихомирова);

Отметить Почётными грамотами за участие в конкурсе следующих участников: Гусева К.О. (СПбГУКиТ), Поздеева Д.М. (СПбГУКиТ), Шевченко Д.В. (ЗАО «СИНЕМА ПАРК»), Даурова И.Г. (Ростовская киностудия), Грачёву О.С. (аспирантку ИПК работников ТВ и РВ), Лобастова С.А (аспиранта ОАО «НИКФИ»).

28 апреля на 7-ой специализированной выставке услуг кино- и телепроизводства (CPS - Cinema Production Service) прошло награждение победителей Конкурса .

Спонсорами Конкурса выступили : ОАО «НИКФИ», ООО «ИПП «Куна», ЗАО «Кинотехника».



СТАНДАРТИЗАЦИЯ В КИНЕМАТОГРАФИИ: современное состояние, задачи и направление развития



(Круглый стол, ОАО «НИКФИ», 25 марта 2010 г.)

■ Открыла Круглый стол **Н.С. Ковалевская (ОАО «НИКФИ»)** словами:

«Уважаемые коллеги! Хотелось бы в рамках Круглого стола обозначить нашу позицию по существующим проблемам в стандартизации отечественной киноиндустрии и по её дальнейшей судьбе, поскольку это одна из ключевых проблем не только в нашей отрасли, но и в других отраслях России.

Принятие в 2002 году Федерального закона «О техническом регулировании» полностью изменило существующую систему стандартизации продукции и процессов производства, а именно: заменило обязательную стандартизацию добровольной. Во всём мире стандарты носят добровольный характер и, следовательно, не создают препятствий для развития науки и внедрения новых технологий.

Закон «О техническом регулировании» предусматривает с 01 июля 2010 года отмену всех отраслевых стандартов на территории Российской Федерации.

На сегодня нормативное обеспечение техники и технологии кинематографии состоит из межгосударственных (ГОСТ), национальных (ГОСТ Р) и отраслевых (ОСТ, РТМ, Р, РД и т.д.). Фонд нормативно-технических документов содержит более 300 наименований.

Более 100 международных стандартов в области кинематографии (ИСО, МЭК) нуждаются в принятии их в качестве государственных стандартов: либо как аутентичный текст на русском языке, либо с дополнительными требованиями, отражающими специфику киноиндустрии.

Также хочу обратить Ваше внимание, что Фонд отраслевых нормативных документов таких, как ОСТ, РТМ, Р, РД и т.д., составляет в киноиндустрии от 75% до 85%. И, естественно, отмена отраслевых документов приведёт к отсутствию национальных требований, во-первых, к безопасности, а во-вторых, к качеству кинопродукции, что делает невозможным производить работы, а также вести диалоги на законных основаниях в конфликтных и аварийных ситуациях. А отсюда следует, что приведение стандартизации в кинематографии в соответствие с требованиями Федерального закона «О техническом регулировании» является на

сегодняшний день важнейшей задачей, для решения которой необходимо:

- провести анализ действующего фонда документов, пересмотреть или отменить национальные стандарты, потерявшие актуальность;
- обеспечить разработку новых национальных стандартов, учитывая необходимость их гармонизации с международными стандартами;
- провести анализ отраслевых стандартов и подготовить предложения, касающиеся их дальнейшего использования.

Разумеется, что для осуществления этой работы необходимо участие всех ведущих специалистов в области кинотехники. Специалистами НИКФИ предложен проект Плана проведения мероприятий по стандартизации, который предусматривает разработку нормативных документов по основным направлениям киноиндустрии с определением сроков и приоритетных направлений. Эта работа должна проводиться систематически. Учитывая большой объём документов, предлагается осуществлять её в несколько этапов. НИКФИ за весь восьмидесятилетний период своего существования проводил и проводит работы по разработке нормативных документов по различным направлениям киноиндустрии. На базе ОАО «НИКФИ», по приказу Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, создан национальный Технический комитет по стандартизации «Кинематография» (ТК 015), работа которого создаёт условия для участия в процессе стандартизации всех заинтересованных сторон (государство, производители, потребители).

ОАО «НИКФИ» является единственной организацией в Российской Федерации, которой разрешено Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии осуществлять сертификацию параметров оборудования профессиональной кинематографии, а также услуг по кино- и видеообслуживанию зрителей.

На НИКФИ возложены:

1. Ростехрегулированием функции постоянно действующего национального рабочего органа Международной Организации по стандартизации (ISO) в технических комитетах TC 36 Cinematography и TC 42 Photography.

2. Международной электротехнической комиссией (IEC) в техническом комитете TC 100 Аудиовизуальные и мультимедийные системы и оборудование.

3. ISO TC 36 за институтом закреплена рабочая Группа по разработке стандартов в области техники и технологии печати и обработки фильмовых материалов, председателем которой является д.т.н., профессор Комар В.Г.

Учитывая многолетнюю деятельность нашего института в работах ИСО, было принято решение 36 Технического Комитета о проведении в Москве очередного 21-го Пленарного заседания с 7 по 10 июня 2010 года. Это предложение было поддержано и одобрено Министерством культуры РФ, Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии и согласовано с большинством стран, активных членом ТК36.

В нашей стране такие заседания не проводились с 1967 года. Участие нашей страны в мероприятиях такого уровня направлено на повышение авторитета России в области международной стандартизации и развитие научно-технического сотрудничества. В настоящее время специалисты ОАО «НИКФИ» приступили к выполнению услуг по организации этого мероприятия. Ожидается приезд в Москву участников из многих стран: Великобритании, Германии, Канады, Китая, США, Франции, Японии, Южной Кореи, Швейцарии.

От России наш институт к этому заседанию подготовил предложения по разработке новых международных стандартов ИСО, которые были включены в программу:

- Параметры записи стереопар для кинотеатрального кинематографа.

Предлагаемый к разработке стандарт поможет ограничить ошибки в киносъёмочном и проекционном оборудовании, которые негативно сказываются на восприятии стереоизображения.

- Система показателей качества кинопоказа. Номенклатура показателей.

По сложившейся практике контроль качества кинопоказа в мире осуществляется авторитетными комиссиями технических экспертиз, таких как Высшая Кинотехническая Комиссия во Франции, THX в США, Dolby laboratories и др. В России эта процедура осуществляется НИКФИ. Предлагаемый к разработке стандарт необходим для единого понимания между организациями, осуществляющими технические экспертизы кинопоказа, и включает требования к номенклатуре параметров качества кинопоказа и методам их контроля.

Решения вопросов в областях стандартизации, сертификации и метрологии являются коммерчески невыгодными и заслуживают внимания и поддержки государства».

Своё видение проблемы высказали:

А. Рубин (ООО «Кинопроект»):

«... ..Сегодня в России вся техника импортная и к внутренним стандартам не имеет никакого отношения. Что нас вынудило собраться здесь? Это не только желание, но и необходимость следовать общим тенденциям развития кинематографа. Надо понимать: что сегодня толкает нас вперёд? Сегодня, с нашей точки зрения, – это неудержимое развитие цифрового кинематографа и особенно 3D стереокино, осо-

бенно, его кинопоказ. Сборы (800 тыс. долларов за первые три месяца этого года по сравнению с 200 тыс. долларов в прошлом году за тот же период) кинопоказа стереофильма «Аватар» не могут не подтолкнуть всю киноиндустрию к осознанию того, что без стандартизации, без понимания правил игры, эти успехи могут стать очень кратковременными, и сегодняшние всплески цифрового стереокино могут быть дискредитированы отсутствием качества и стандартов, как таковых. 3D стереофильмы смогут стать спасением и тем мотором, который толкает всю киноиндустрию вперёд.

Что происходило с эволюцией стандартов за рубежом, куда двигался Запад? С 2002 года DCI разработано большое количество документов. С 2005 года принятые стандарты практически отвечают потребностям современной киноиндустрии».

А. Егоров (Киноконцерн «Мосфильм») сказал о том, что для предприятия, производящего кинофильмы, каковым является «Мосфильм», стандартизация – это вопрос достаточно серьёзный и необходимый. Он согласен со всеми доводами предыдущих выступающих. «...Какая стандартизация должна быть – добровольная или обязательная? Вопрос очень серьёзный. Кинофильм – это продукт не только как художественное произведение для режиссёра, но и сложное техническое изделие, которое обладает своими правилами. Стандарты являются единственным инструментом, к которому можно оперировать при возникновении споров, коллизий, возникающих между заказчиком и изготовителем. Не нравится заказчику, как получился фильм, давайте переделывайте. А что значит переделать? Это – время, ресурсы, а главное, деньги. Где их взять? За чей счёт переделка? Производство кинофильма начинается со сценария и заканчивается, когда гаснет свет в зале. И мы все вместе обязаны договориться, иначе нас ждёт массовое банкротство...».

В дискуссию вступает **О. Березин (ЗАО «НЕВАФИЛЬМ»):** «...Вопросы стандартизации являются очень важными для сферы цифрового кинопроизводства и кинопоказа. На сегодня единственным авторитетным органом в сфере цифрового кинопроизводства, кинопоказа и нормативных требований является Голливуд.

В настоящее время в области цифрового кинопроизводства и цифрового кинопоказа принято 32 стандарта SMPTE; ISO приняло 21 стандарт, один стандарт находится в стадии финального голосования».

Докладчик отметил, что наиболее продуктивным для России в области стандартизации цифрового кино должна стать не попытка разработать свои собственные национальные стандарты, а активное участие в разработке стандартов SMPTE и ISO. «Если у нас есть собственные предложения по стереопоказу, о которых сегодня говорилось, естественно, их нужно проводить через ISO. Кроме того, необходима гармонизация национальных стандартов с международными, или принятие стандартов ISO в качестве национальных.

Первостепенной задачей в области стандартизации является терминология.

Мы начинаем путаться в терминах по цифровому кинематографу, вкладывая в них разный смысл и понятия, есть термины сложные для перевода. Как правильно перевести тот

или иной термин? Это особенно важно при покупке цифрового кинооборудования».

Докладчик предложил создать рабочую группу из представителей киносообщества, которая, в первую очередь, займётся вопросами терминологии. «Надо начинать переводить международные стандарты, начинать обсуждать термины, даже если не на уровне официального государственного документа, а на уровне документа, принятого сообществом. Таким образом, мы хотя бы начнём пользоваться общей терминологией, говорить на одном языке. Ещё несколько слов о тех «живых» процессах, которые происходят в мировом киносообществе. Дискуссия, которая развернулась сегодня на Круглом столе по поводу яркости, требуемой для качественной демонстрации 3D-изображений в кинозале, – это тоже показатель тех «живых» процессов, которые происходят в мировом киносообществе. Последние три года идёт широкая дискуссия по нормированию яркости 3D-изображения между теоретиками и практиками. Безусловно, нельзя просто принять стандарт, исходя из теоретических расчётов, не принимая во внимание реальные возможности проекционного оборудования и экономические аспекты такого решения. Вот и получается, что для первых фильмов студии требовали минимум. Важно понимать, что это не только вопрос возможностей цифровой проекции, но это и параметр, который важно знать ещё на этапе создания фильма, так как цветокоррекция выполняется под определённый уровень яркости изображения».

В заключение докладчик предложил:

«Первое. Направить усилия не на разработку собственных национальных стандартов в сфере цифрового кинопроизводства и кинопоказа, а на подготовку предложений от России по стандартизации через международные стандартизирующие организации SMPTE и ISO.

Второе. Начать работу по гармонизации принятых международных стандартов ISO в качестве национальных российских стандартов.

Третье. В ближайшее время сформировать рабочую группу представителей киносообщества, которая займётся координацией работы по переводу текстов международных стандартов и по формированию терминологической базы сферы цифрового кинопроизводства и цифрового кинопоказа. Эта группа может работать, например, под эгидой Гильдии кинотехников Союза Кинематографистов и готовить документы, спецификации и т.д., к которым другие члены российского киносообщества могут присоединяться на добровольной основе, по крайней мере, до принятия официальных стандартов.

На сегодняшний день каждый второй кинотеатр в стране оснащён цифровой проекцией. И пока мы участвуем в этом Круглом столе, в стране открылась ещё пара цифровых кинотеатров. Рынок не будет ждать, пока мы между собой договоримся. Поэтому надо начинать работу прямо сейчас, и это очень важно! Надо просто, как минимум, начать что-то делать вместе».

Ю.А. Индли (ОАО «НИКФИ») говорил об измеряемых акустических параметрах в кинозалах. Это набор архитектурно-

акустических и электроакустических характеристик, необходимых для оценки качества звучания в кинозале.

«Основной архитектурноакустической характеристикой является время реверберации. Стандарты для современного кино требуют очень низкое время реверберации, чтобы не препятствовать звукооператору создавать нужную акустическую обстановку в зале с помощью периферической системы громкоговорителей.

Импульсная реакция зала позволяет выявить локальные акустические недостатки, которые могут привести к тембральной окраске звучания в некоторых местах. Эту окраску вызывают ранние, слишком быстро следующие за прямым звуком отражения: для первых рядов это – отражения от пола, для боковых мест – отражения от акустически не обработанной близкой стены, для всех мест – отражения от низкого потолка.

Основной электроакустической характеристикой является электроакустическая частотная характеристика (ЭЧХ), которая нормируется кривой X международного стандарта ISO 2969. Предполагается, что если ЭЧХ зала перезаписи, где готовится фонограмма, и зала кинотеатра соответствуют кривой X, то звучания в этих залах будут одинаковыми. В действительности ЭЧХ измеряется в установленном режиме, т.е. по сумме прямого и реверберационного звуков, в то время как сходство или различие звучаний зависит, в основном, от тембра, а тембр определяется прямым звуком. Наличие в ЭЧХ реверберационной составляющей приводит к её зависимости от объёма помещения, влажности воздуха, характеристики направленности громкоговорителя. Прямой звук меньше подвержен этим влияниям. Поэтому переход к измерениям ЭЧХ по прямому звуку позволит с большей надёжностью идентифицировать звучания в различных залах.

Потом слово взял **С.Н. Рожков** (ОАО «НИКФИ»). Он рассказал о нормировании параметров стереокинопроекции и требований к зрительному залу для стереокинопоказа. «...Раньше перед съёмкой стереофильмов операторы в НИКФИ проходили краткосрочное обучение основам стереосъёмки, с участием ведущих специалистов проводили пробные стереосъёмки и анализировали результаты. В процессе съёмок фильма пользовались разработанными в НИКФИ технологическими рекомендациями, благодаря чему контент стереофильма обеспечивал возможность его просмотра с минимальной, по сравнению с обычным фильмом, нагрузкой на зрительную систему. На основе результатов исследований и практического опыта были выработаны требования к переоборудованию кинотеатров для стереокинопоказа и разработан Руководящий технический материал РТМ 19-77-94 «Развитие и техническое оснащение киносети». Одним из главных требований было обеспечение необходимой яркости воспринимаемого стереоизображения. Исходя из этого требования, в залах устанавливались кинопроекторы с максимально возможным световым потоком, ограничивались размеры экранного изображения, оптимизировались форма, размещение экрана (кривизна полотна, степень наклона экрана), конфигурация зрительской зоны, ограничивалось расстояние от экрана до первого ряда.

В настоящее время, в связи с переходом на цифровую проекцию и возможностью демонстрации стереофильмов в залах не только с недеполяризуемыми (металлизованными), но и беломатовыми экранами с различными коэффициентами яркости, а также в связи с особенностями применяемых методов сепарации изображений, необходима разработка новых нормативных документов в части требований к параметрам стереопроекции и к оптимизации размеров и взаимного расположения киноэкрана и зоны зрительских мест. Многие положения упомянутого РТМ при этом могут быть взяты за основу.

Позволю себе усомниться в справедливости заявления О. Березина о том, что единственным авторитетным органом в сфере цифрового кинопроизводства и нормативных требований является Голливуд, который в разы уменьшил норму яркости для стереокинопоказа. При неизменном световом потоке цифрового кинопроектора, в случае перехода на стереопроекцию, воспринимаемая яркость уменьшается до восьми раз. Цифровой проектор позволяет изменять световой поток (без замены лампы) не более чем на 40%. Это говорит о том, что если для показа фильмов в данном зале предусмотрен только один проектор, то использовать этот зал для демонстрации как стереофильмов, так и обычных плоскостных фильмов, нельзя. Могут утверждать, что практически во всех кинозалах (кроме, например, малого зала в Министерстве культуры, куда рядовых зрителей не пускают) необходимая (именно необходимая, воспринимаемая зрителем в стереоочках) яркость занижена во много раз. Даже в зале № 8 кинотеатра «Октябрь», в аппаратной которого сегодня установлен проектор с 6-киловаттной лампой, в зале которого установлен металлизированный (коэффициент яркости 2,4) экран с высотой зеркала 5 м, воспринимаемая яркость несколько ниже, чем при обычном кинопоказе. В большинстве стереокинзалов многие зрители жалуются на усталость глаз, снимают стереочки во время просмотра. В прессе и на телевидении развернулись дискуссии о возможном вреде стереоочков.

Нормы должны предусматривать 7–8-кратное увеличение светового потока цифрового проектора для стереокинопоказа по сравнению с демонстрацией обычных (2D) фильмов при тех же характеристиках экрана и размерах изображения.

Следует отметить, качество стереоконтента часто оставляет желать лучшего. Я не говорю о художественных достоинствах. Некоторые плоскостные фильмы трансформируются в стерео (что несопоставимо с прямой стереосъемкой или грамотно синтезированным стереоизображением на компьютере) и выдаются за стереофильмы. Даже в таком стереофильме, как «Аватар», многие кадры фильма представляют собой невыразительную трёх-, четырёхплановую стереокомпозицию из плоских изображений, либо просто плоскостные планы. Некоторые 3D-фильмы более чем на 80% просто плоскостные! А это не только дискредитация стереокино как вида кинематографа, но и прямой обман зрителя».

Далее выступил главный научный сотрудник, д.т.н., профессор, академик МАИ и МСЭ-Р **М.И. Кривошеев (ФГУП**

НИИР). В своём выступлении М.И. Кривошеев поддержал намеченные ОАО «НИКФИ» перспективы развития отечественной стандартизации, направленные на принятие уже существующих международных стандартов в качестве государственных, и активное участие России в процедурах подготовки и обсуждения предложений при разработке новых международных стандартов.

Информировал о наступающем периоде новой информационно-рекламной инфраструктуры с широким использованием «наружного кинематографа» и «наружного телевидения» на основе больших наружных полноцветных электронных табло, кино- и видеозэкранов. О замене устаревших видов рекламы (плакаты, растяжки) на новые видеoinформационные системы (ВИС). О связанной с этим необходимостью поиска новых подходов к стандартизации в сферах кино и телевидения.

От **СПбГУКиТ** выступила **Е.И. Нестерова** и рассказала о принципах и технологиях стандартизации и о требованиях к системной иерархической структуре НТД.

Лишин Л.Г. (ВНИИТР) рассказал о стандартах, которые действуют на телевидении.

Завершая Круглый стол, все участники приняли РЕШЕНИЕ:

1) Считать необходимым для успешного и устойчивого развития современной конкурентоспособной отечественной киноиндустрии сохранение и развитие национальной стандартизации.

2) Продолжить проведение работ по разработке национальных требований к технологическим процессам производства, хранения и показа кинофильмов.

3) Приведение нормативных документов в киноиндустрии в соответствие с требованиями Федерального закона «О техническом регулировании» на сегодняшний день является приоритетной государственной задачей.

4) Для решения этих задач необходимо:

- провести анализ действующего фонда документов, пересмотреть или отменить национальные стандарты, потерявшие актуальность;
- обеспечить разработку новых национальных стандартов, соответствующих потребностям национальной киноиндустрии с учётом необходимости их гармонизации с международными стандартами;
- провести анализ отраслевых нормативных документов и подготовить предложения, касающиеся их дальнейшего использования.

5) Выполнение всех поставленных задач целесообразно осуществлять с привлечением ведущих предприятий и специалистов отрасли, при координации Министерства культуры РФ на основе структуры работающего на базе ОАО «НИКФИ» 15-го национального Технического Комитета (ТК 015 «Кинематография») Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

6) Работы, проводимые в областях стандартизации, сертификации и метрологии, являются коммерчески невыгодными и, учитывая их важность, заслуживают особого внимания и поддержки государства. ■



С. Хетлярович,
креативный директор
3D AZiMUT

КОНВЕРТАЦИЯ ВИДЕОМАТЕРИАЛОВ В СТЕРЕОФОРМАТ – особенности, возможности и ограничения

(Научно-техническая конференция «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других отраслях», МКБК, 22–23 апреля 2010 г.)

■ Конвертация 2D видео в 3D – мифы и реальность

Уже с первого прорыва в стереокинематографе с 50-х годов XX века в Америке, и с приходом анаглифных очков в массы, встал вопрос о конвертации уже существующих материалов в стереоформат. Этот вопрос возник опять в 1980-х и вновь поднимается сейчас.

В последнее время появлялись совершенно разные способы конвертации, начиная с псевдостерео, заканчивая покadroвой ручной обработкой видео. На фоне возрастающей потребности в стереоконтенте, один из способов конвертации стал выделяться из общей массы вариантов. Это – конвертация из 2D в стерео с использованием карты глубины.

Карта глубины

Так называемая «карта глубины» в мире трёхмерной графики обычно называется Z-буфером или Z-глубиной.



Рис. 1. Карта глубины (z-depth карта)

Z-буфер представляет собой двумерный массив, каждый элемент которого соответствует пикселю на экране. Когда видеокарта отрисовывает пиксель, его удалённость просчитывается и записывается в ячейку Z-буфера. Если пиксели двух рисуемых объектов перекрываются, то их значения глубины сравниваются. Рисуется тот, который ближе, а его значение удалённости сохраняется в буфер. Получаемое при этом графическое изображение носит название z-depth карта, представляющая собой полутоновое графическое

изображение, каждый пиксель которого может принимать до 256 значений серого. По ним определяется удалённость от зрителя того или иного объекта трёхмерной сцены.

Применение карты глубины в конвертации

При наличии 2D изображения и соответствующей карты глубины, можно создать стереопару смещением пикселей в горизонтальной плоскости, учитывая данные, полученные из карты глубины. Стереозэффект можно потом увеличивать или уменьшать двумя способами:

1. Менять оттенки карты глубины (рис. 2);
2. Увеличивать или уменьшать смещение пикселей через алгоритм $2D + \text{глубина} = \text{стерео}$ (рис. 3).

Создание карты глубины

Карта глубины создаётся автоматически в случае расчёта 3D компьютерной графики. Но основная пробле-



Рис. 2. Смена оттенков в карте глубины



Рис. 3. Влияние параметра смещения на стереозэффект

ма стереоконвертации с использованием карт глубины – это создание z-depth изображения для двухмерного видео, так как данные по глубине, в принципе, отсутствуют в этом случае. Единственный верный способ оценить глубину – это знать параметры оптики камеры, которой снимался материал, и реконструировать карту глубины субъективными методами. Под каждый план видео создаётся свой набор карт глубины в ручном, полуавтоматическом или автоматическом режиме.

Ручной режим создания карт глубины является обычно самым качественным, но и самым трудоёмким способом. Автоматический режим обычно даёт посредственные результаты. Полуавтоматический режим на сегодняшний день является самым ходовым, так как он совмещает качество ручного и скорость автоматического режима создания карт глубины.



Рис. 4. Пример карты глубины, созданной на основе изображения из игрового фильма

Ограничения стереоконвертации

Любой способ стереоконвертации сталкивается со следующими трудностями:

1. Манера операторской съёмки и последующего монтажа в 2D не подходит для качественного стереоэффекта (объекты на переднем плане касаются краёв изображения, планы меняются слишком быстро для восприятия стереоэффекта и т.д.). Данная проблема не может быть решена без серьёзных изменений в 2D материалах и их подготовки к стереоконвертации.

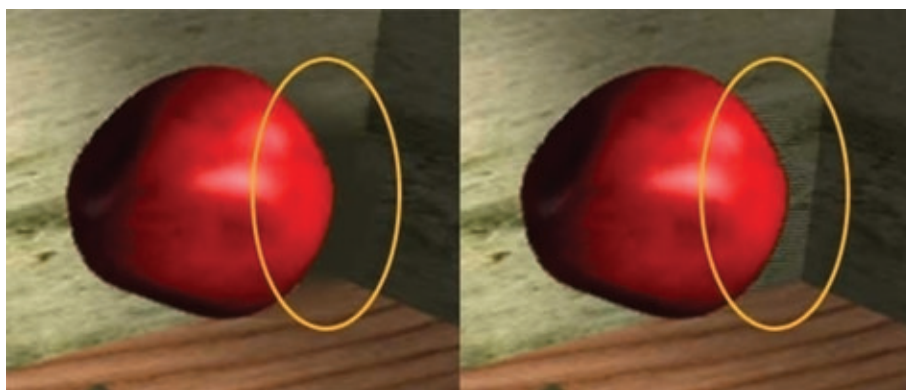


Рис. 5. Маскирование областей с нехваткой визуальной информации при стереоконвертации

2. Нехватка информации в 2D изображении в местах, где происходит смещение в 3D.

Для улучшения качества финального стереоизображения обычно используются разные алгоритмы, которые заполняют части картинки, исходя из информации, полученной от соседних пикселей начального 2D материала.

3. Экономическая необоснованность абсолютно точного воссоздания всех элементов 2D изображения в стереоварианте.

Несмотря на все усилия художников прорисовать до мельчайших деталей карту глубины, перенести все детали в стерео практически нереально, и к тому же очень трудоёмко.

4. Завышенные ожидания заказчиков по результатам конвертации (обычно касается «дешёвых» стереоэффектов отрицательного параллакса, т.е. «вылета»).

Дополнительных стереоэффектов обычно можно добиться с помощью внедрения 3D графики в конвертированный материал, но остаётся вопрос целесообразности такого поступка и изменения оригинального сюжета.

5. Много различных предложений на рынке конвертации приводит к появлению некачественной стереопродукции, которая быстро портит как репутацию

стереоконвертации, так и стереокино в целом.

6. В настоящее время общество настороженно смотрит на развитие стереокино и телевидения. Поэтому очень важно поддерживать определённый уровень качества работы и бороться за продвижение стандартов в этой области.

Преимущества стереоконвертации

Стереоконвертация обладает рядом преимуществ:

1. Возможность перевести уже готовый 2D материал в стереоформат.

Основная роль стереоконвертации в данный момент. При большой нехватке стереоконтента, конвертация 2D видео является единственным путём навстречу с потребителем.

2. Оперативная настройка стереоэффектов.

Использование карт глубины для стереоконвертации даёт возможность быстро настраивать и менять стереоэффект и даже готовить цифровые копии под определённый цифровой стереозал с

учёт его конфигурации зрительных мест, расположения и размера экрана.

3. Реальный стереоэффект.

Несмотря на очевидный скепсис в определённых кругах в кинобизнесе, стереоконвертация с использованием карт глубины даёт полноценный стереоэффект.

4. Сравнительно низкая стоимость.

Стереоконвертация обходится в разы дешевле любой профессиональной стереосъёмки.

5. Подготовка к стереосъёмкам и стереомонтажу.

Промежуточный этап на пути от 2D к стерео и конвертация дают возможность подготовиться к стереомонтажу и познать некоторые из особенностей работы со стереоматериалами.

Будущее стереоконвертации?

Несмотря на все свои плюсы и минусы, конвертация является серьёзным инструментом для получения довольно качественного стереоконтента, столь нужного на данном этапе развития отрасли объёмного кинематографа. Тем не менее, всем игрокам рынка уже сейчас понятно, что конвертация 2D в стерео представляет собой переходный вариант, который в близком будущем уйдёт на второй план (в основном, конвертация библиотек видеоматериалов). В течение нескольких лет кино уже будет сниматься полностью в стереоформате, а тем временем большие компании на рынке бытовых стереоприборов будут усиленно работать над приставками, которые смогут обеспечить конвертацию 2D в стерео в реальном времени. ■

Исходное плоское изображение (2D)



Карта глубины, сформированная компьютерной программой



Стереопара (3D), полученная из 2D изображения

Рис. 6. Применение карты глубины в конвертации



СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ТРУДНОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ФИЛЬМОВ в 2D и 3D форматах



Г.И. Рожкова, ведущий научный сотрудник Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, г. Москва

Н.Н. Васильева, доцент кафедры возрастной и специальной психологии Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева, г. Чебоксары

Аннотация

Основной тезис: стереофильмы могут и должны создавать меньшую зрительную нагрузку, чем обычные фильмы. Подчеркивается, что даже в естественных условиях наблюдения реального внешнего мира зрительная система постоянно испытывает затруднения в интерпретации сетчаточных изображений и вынуждена преодолевать противоречия. Человек всю жизнь учится справляться с этими трудностями и приобретает навыки, помогающие ему формировать адекватные видимые образы. При просмотре фильмов в 2D и 3D форматах возникают дополнительные специфические трудности и противоречия, причём 2D формат не легче и не комфортнее для восприятия, чем 3D формат, просто первый формат уже привычен, зрители с ним освоились, а к 3D формату многим ещё нужно адаптироваться. Поскольку, в принципе, 3D формат намного ближе к естественным условиям восприятия, грамотно снятые и правильно демонстрируемые стереофильмы должны вызывать меньшую зрительную нагрузку, чем обычные 2D фильмы.

Ключевые слова: зрительное восприятие, естественные условия зрения, 2D формат, 3D формат, стереоскопическая кинематография.

Цель публикации – обсудить и сопоставить трудности восприятия сложных трёхмерных сцен при просмотре кинофильмов, демонстрируемых в 2D и 3D форматах. Классик отечественной стереокинематографии Н.А. Валюс в своё время уделял большое внимание физиологии зрительного процесса и психофизиологии восприятия пространственных отношений в условиях просмотра обычных и стереоскопиче-

COMPARATIVE PERCEPTUAL DIFFICULTIES ASSOCIATED WITH VIEWING FILMS IN 2D AND 3D FORMAT

G. Rozhkova, N. Vasilyeva

Abstract

The basic idea is that stereofilms can and must produce less visual stress than ordinary films. It has been particularly emphasized that, even in natural conditions of viewing real external world, visual system is permanently faced with difficulties in retinal image interpretation and has to overcome certain contradictions. Over many years, the human beings are learning to cope with the visual tasks and gain the ability of creating adequate visual images. Viewing 2D and 3D films evokes specific additional difficulties and contradictions. In the sense of visual perception, 2D format isn't easier or more comfortable than 3D format. However, 2D format became customary long ago while 3D format could still require adaptation in many spectators. Since, in principle, 3D format is more close to the natural conditions of visual perception, the films in 3D format should cause less visual stress than customary films in 2D format.

Keywords: visual perception, natural visual conditions, 2D format, 3D format, stereoscopic cinematography.

ских кинофильмов [1, 2]. К сожалению, его труды давно не переиздавались, и к тому же наука о зрительном восприятии с тех пор значительно продвинулась, так что необходимо снова вернуться к этим вопросам.

В настоящее время среди специалистов по технике стереокино распространено мнение, что «стереоскопический кинематограф даже в отдалённой перспективе не

сможет доминировать в кинематографии из-за очень серьёзного экологического недостатка – нарушения естественного соотношения между важнейшими зрительными признаками: диспаратность, конвергенция и аккомодация» [3]. Однако в свете имеющихся на сегодняшний день экспериментальных и клинических данных по физиологии зрительного восприятия это мнение представляется весьма спорным и требует пересмотра.

Дело в том, что приведённое мнение базируется на умозрительных или идеальных представлениях о том, что в процессе естественного наблюдения реальных сцен диспаратность сетчаточных изображений, конвергенция и аккомодация всегда хорошо согласованы. Иными словами, подразумевается, что зрительные оси обоих глаз всегда направляются строго на рассматриваемую точку, её диспаратность (бинокулярный параллакс) становится равной нулю, угол конвергенции однозначно задаётся её позицией, а настройка аккомодационной системы точно соответствует расстоянию до этой точки (рис.1).

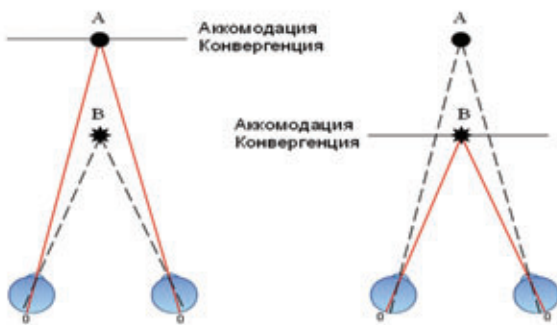


Рис. 1. Идеализированное представление о связи аккомодации, конвергенции и диспаратности: перевод взгляда с точки А на точку В сопровождается соответствующим изменением направлений зрительных осей и состояния аккомодации

Это заблуждение является широко распространённым и очень стойким. В частности, и мы в своей первой работе по восприятию стереофильмов [6] некритично исходили из такого представления. На самом деле, в реальном зрении такие идеальные соотношения почти никогда не выполняются даже для статических сцен, и уж тем более – для динамических, которые преобладают в кинофильмах. В подавляющем большинстве реальных ситуаций между указанными параметрами имеются существенные расхождения. Хотя соответствующие экспериментальные данные публикуются на протяжении многих десятилетий, инженеры не принимают их во внимание, так как не следят за физиологической и офтальмологической литературой. Более того, даже специалисты по зрению постоянно упускают эти данные из виду. Для подтверждения своих слов приведём цитату из авторитетного клинического руководства М. Шеймана и Б. Уика по бинокулярному зрению [17]: «Клиницисты обычно рассуждают в терминах аккомодационных стимулов, а не реакций. Однако аккомодационные реакции значительно меньше, чем стимулы.

Если приближать объект к глазу с большого расстояния, то из-за особенностей аппарата рефракции и глубины фокуса глаза размер кругов светорассеяния некоторое время остаётся меньше порога, и смещение объекта примерно на 0,75 дптр (т.е. от ∞ до 1,5 м) совсем не вызывает изменения аккомодации. Глубина фокуса в сочетании с нормальным отставанием аккомодации в 0,5 дптр приводит к тому, что приближение объекта фиксации до 40 см вызывает аккомодационную реакцию, соответствующую всего 1,25–1,5 дптр – значительно меньшую, чем аккомодационный стимул, составляющий при этом 2,5 дптр.»

Влияние глубины фокуса оптической системы на качество формируемых изображений прекрасно известно всем, занимающимся фотографией и киносъёмкой, и оптическая система глаза не составляет тут исключения: глубина фокуса глаза позволяет получать резкие изображения объектов, находящихся на разном удалении от человека без изменения настройки, т.е. аккомодации. Разумеется, протяжённость зоны чёткого видения зависит как от условий наблюдения и параметров рассматриваемых объектов, так и от состояния глаз [15]. Однако можно определённо утверждать, что в типичных условиях демонстрации стереофильмов большая часть объёмных сцен будет находиться в пределах этой зоны. Это снижает потребность человека в регулировке аккомодации, и вопрос о соответствии аккомодации и конвергенции теряет свою остроту.

Упомянутое в приведённой выше цитате и характерное для зрения человека нормальное отставание аккомодации может приводить к дополнительному рассогласованию между позицией объекта наблюдения и настройкой оптической системы глаза. Что подразумевается под этим термином? Уже несколько десятилетий в офтальмологической литературе обсуждается тот факт, что глаз почти никогда не фокусируется на рассматриваемом объекте, даже если человеку дана инструкция фиксировать объект взглядом как можно лучше [7, 9, 13]. На рис. 2, а приведена условная кривая, поясняющая это явление, а на рис. 2, б для примера показаны экспериментальные данные, полученные для нескольких испытуемых в одном из современных исследований на эту тему.

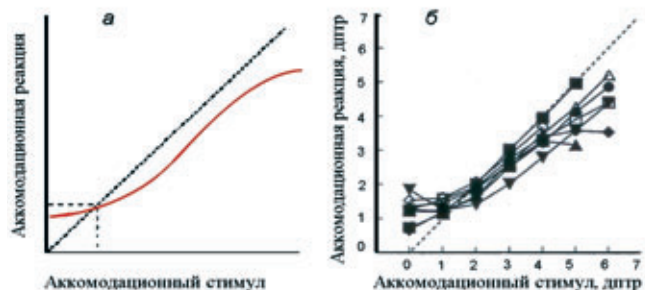


Рис. 2. Схематическое изображение типичной аккомодационной характеристики стимул-реакция (а) и экспериментальные аккомодационные характеристики, полученные на нескольких молодых испытуемых при фиксации сложного зрительного стимула размером 10° с разных расстояний (б) (по данным работы [9])

Лишь в небольшом диапазоне расстояний (вблизи так называемой точки покоя) состояние аккомодации, в среднем, точно соответствует положению объекта наблюдения, но чем дальше отодвигается объект от этой точки как в направлении к глазу, так и от него, тем больше состояние аккомодации отличается от теоретически необходимого. Хотя исследованию механизмов этого явления посвящены десятки работ, удовлетворительного объяснения до сих пор нет.

К этому нужно добавить, что при любой настройке глаза имеют место флуктуации аккомодации – непрерывные случайные изменения настройки с наиболее выраженной частотой 0,5 Гц (верхний предел 2 Гц) и амплитудой, обычно составляющей несколько десятых диоптрий, но доходящей и до целой диоптрии (рис. 3).

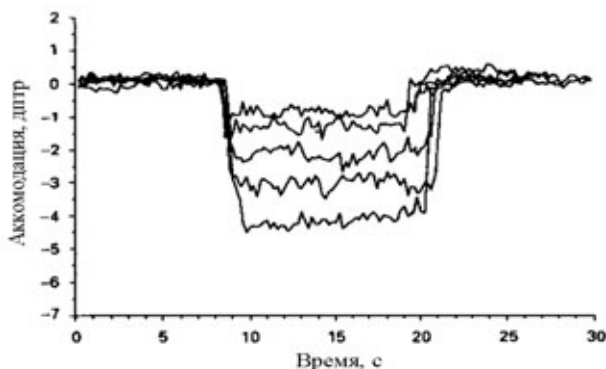


Рис. 3. Флуктуации аккомодации: записи аккомодационных реакций одного испытуемого, исходно смотрящего вдаль, на предъявление фиксационного стимула при разных расстояниях до него: 1 м (верхняя запись), 50 см, 33 см, 25 см и 20 см (нижняя запись) (из работы [16])

Изменение оптической силы на 1 дптр соответствует перестройке фокусировки с бесконечности до одного метра – а это практически весь диапазон расстояний, который используется в стереофильмах.

Учитывая рассмотренные экспериментальные данные о реальном поведении аккомодационной системы в естественных условиях наблюдения, можно сделать вывод, что опасения по поводу «нарушения естественных соотношений» между аккомодацией и конвергенцией при просмотре стереофильмов не имеют физиологических оснований. Это же можно сказать и по поводу естественных соотношений между другими параметрами – например, конвергенцией и диспаратностью. Когда люди пытаются точно фиксировать мелкий объект, т.е. свести на нём обе зрительные оси, обеспечив тем самым точную конвергенцию и нулевую диспаратность, это далеко не всегда и не всем удаётся. В большинстве случаев либо правая зрительная ось, либо левая, либо обе проходят мимо желаемой точки, причём оси глаз могут даже нигде не пересекаться. Расхождение между теоретическим углом схождения зрительных осей на рассматриваемой точке и реальным направлением осей называют фикса-

ционной диспаратностью. В клинике фиксационную диспаратность измеряют, предлагая человеку выполнять глазодвигательную задачу бификсации – строго фиксировать обоими глазами центральный знак на специальной таблице. В таких условиях типичные значения фиксационной диспаратности составляют несколько угловых минут, обычно менее шести. Однако в естественных условиях наблюдения реальных динамических сцен человек решает не глазодвигательные, а зрительные задачи, не заботясь специально о точности фиксации. Как показывают эксперименты с записью движений обоих глаз, расхождения в направлении зрительных осей на мелкий объект, появляющийся на плоском дисплее, обычно составляют не единицы, а десятки угловых минут. В процессе наблюдения естественных трёхмерных сцен человек распределяет свое внимание по большой области, не выделяя объект бификсации, и определяя пространственные соотношения на основе относительной диспаратности.

Таким образом, как показывают приведённые экспериментальные данные, в условиях наблюдения естественных сцен зрительная система может большей частью обходиться без точной бификсации и точной фокусировки объектов, допуская значительные отступления от идеализированной схемы, приведённой на рис. 1. Рассогласования, имеющие место при просмотре стереофильмов, в большинстве случаев находятся в пределах естественных отступлений и потому не должны вызывать физиологического дискомфорта.

Перейдем теперь от физиологии процессов, связанных с обеспечением качества изображений, к психофизиологии зрительного восприятия, т.е. к вопросам, связанным с формированием видимых образов.

Хотя демонстрация 3D фильмов ведёт свою историю с XIX века, дискуссии по поводу трудностей их восприятия и возможного вреда для здоровья приобрели особую остроту и социальную значимость только в последнее время. Это объясняется тем, что совершенствование технологий создания и проецирования стереофильмов вывело их на качественно новый уровень, позволяющий ставить вопрос о массовом переходе на 3D формат. Именно перспективами массового перехода на 3D формат обусловлены опасения по поводу возможных негативных воздействий соответствующей продукции на зрение и нервную систему. Как это обычно бывает при масштабных переменных, опасения сильно преувеличиваются и драматизируются. Противники 3D формата обращают внимание на сильный дискомфорт при безуспешных попытках слить пару неудачных экранных изображений в единый бинокулярный образ, усталость глаз, головокружение, головные боли.

На самом деле, эти неприятные явления не связаны с какими-либо принципиальными недостатками 3D фильмов, якобы создающими более неестественные условия функционирования для зрительной системы человека, чем обычные фильмы. Дискомфорт и болезнен-

ные явления могут быть обусловлены несколькими причинами:

- техническими погрешностями и трудностями (неудачными параметрами съёмки из-за нарушения рекомендаций или их отсутствия, нехваткой технических мощностей для обеспечения нужного уровня яркости, несоответствием размеров экрана и кинозала и т.п.);
- отсутствием опыта восприятия 3D продукции, который нужно приобретать путём специальных тренировок;
- индивидуальными аномалиями зрения, на которые зритель раньше не обращал внимания и которые ему нужно исправлять.

Первого пункта мы в данном сообщении касаться не будем: очевидно, что технические проблемы будут постепенно решаться соответствующими специалистами.

Переходя ко второму пункту, напомним, что без достаточного опыта человек не может адекватно воспринимать даже реальные объекты в естественной среде. Хорошо известно, что слепые от рождения люди, которым врачи восстановили структуры глаза хирургическим путём в зрелом возрасте, не могут в первое время после операции опознавать даже очень простые фигуры. Они воспринимают зрительные сигналы как оптический поток, световой хаос, который может длительное время угнетать их, пока они не приобретут навыки сопоставления зрительной, тактильной (осязательной), проприоцептивной информации.

О критическом значении индивидуального зрительного опыта для правильной интерпретации естественных, но непривычных сцен и рисунков говорят наблюдения антропологов и специальные эксперименты по изучению влияния особенностей культуры и образовательного уровня на зрительное восприятие. Подробный обзор и анализ таких работ можно найти в статье [8]. Наибольшее влияние на это направление оказали исследования, проведённые Хадсоном в 60-х годах прошлого века. Хадсон изучал зрительное восприятие рабочих и детей, живущих в разных странах Африки, Европы и Азии, используя рисуночные тесты. Это был набор карточек с контурными изображениями, содержащими такие признаки глубины как размер знакомых предметов, линейная перспектива, заслонение дальних объектов близкими [10]. Рисунки были сделаны таким образом, чтобы испытуемый давал разные ответы, если он принимал или не принимал во внимание эти признаки. Например, для сюжетов, показанных на рис. 4, вопросы были такого рода: «На какой объект направлено копьё?», «Кто находится ближе к человеку?»



Рис. 4. Примеры рисуночных тестов Хадсона [10]

Хадсон обнаружил, что школьники начальных классов с трудом воспринимали такие рисунки как трёхмерные, и в своих ответах не учитывали признаки глубины. К окончанию начальной школы практически все европейские школьники воспринимали тестовые картинки как трёхмерные, но некоторые африканские дети всё ещё продолжали видеть их как двумерные. Такое встречалось также и у части неграмотных рабочих, даже европейских. Следует учитывать, что цитируемая работа была выполнена Хадсоном 50 лет назад; в настоящее время культурные различия нивелируются, а скорость приобретения детьми зрительного опыта нарастает, так что результаты тестирования могли бы оказаться иными.

Из отечественных исследователей следует отметить нашего знаменитого психолога А.Р. Лурия, который в 1929 г. совершил поездку в Среднюю Азию для выяснения особенностей зрительного восприятия у коренного населения. В батарею тестов были включены изображения, вызывающие геометрические иллюзии, причём часть иллюзий объяснялась наличием признаков, указывающих на перспективные трансформации объектов. Было обнаружено, что узбеки, живущие в окружении, сильно отличающемся от западной урбанистической среды, и не привыкшие к изображениям прямоугольных объёмных предметов на плоскости бумаги, не испытывают многих зрительных иллюзий, обычных для людей западной культуры [4].

В современных условиях жизни опыт рассматривания изображений трёхмерных сцен на плоском листе бумаги или холсте, а также опыт восприятия фильмов в 2D формате приобретается очень рано. Однако лишь незначительный процент населения систематически наблюдает изображения в 3D формате. В принципе, многим людям для успешного восприятия 3D продукции специальный опыт и не требуется. Если статическое 3D изображение создано с соблюдением необходимых правил, и используется эффективный метод сепарации левой и правой половин стереопары, никакого дискомфорта у зрителя при неподвижной голове не должно возникать, так как сетчаточные изображения неотличимы от тех, которые могли бы иметь место в соответствующей естественной ситуации. Что касается восприятия качественной динамической 3D продукции, то отсутствие дискомфорта подтверждает многолетний опыт проката стереофильмов, созданных сотрудниками НИКФИ: некоторые фильмы демонстрируются уже несколько десятилетий, и никаких жалоб не поступало.

Однако эту позитивную «статистику» нельзя считать безупречной, поскольку до недавнего времени стереофильмы можно было смотреть лишь в небольшом числе кинотеатров, и их посещали только любители. С увеличением сети кинозалов и расширением репертуара жалобы на дискомфорт все-таки появились, и стало ясно, что определённой части зрителей требуется обучение восприятию 3D продукции, более или менее длительное

и зависящее от индивидуальных показателей состояния зрительных функций.

Дело в том, что при восприятии фильмов в 3D формате зритель должен преодолевать специфические трудности и противоречия, которые отличаются как от трудностей и противоречий, встречающихся в естественных условиях и привычно преодолеваемых, так и от трудностей, характерных для 2D формата.

Прежде всего, напомним о трудностях и противоречиях, с которыми зритель сталкивается в естественной обстановке. Главные трудности связаны с неоднозначностью сетчаточных изображений, каждое из которых может соответствовать бесконечному числу объектов разной формы, находящихся на разных расстояниях от глаз. Простейший пример приведён на рис. 5, где показан набор эллипсов, которые при определённых расстояниях от глаз и определённой ориентации дадут на сетчатке одинаковые изображения.

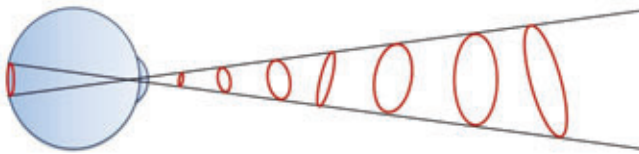


Рис. 5. Схема, иллюстрирующая множественность возможных интерпретаций сетчаточного изображения

Человек справляется с указанной неоднозначностью и находит единственное верное решение (т.е. соответствующее тому реальному объекту, который отобразился на сетчатке), привлекая дополнительную информацию, используя свой опыт и память, двигая головой и меняя угол наблюдения. Однако следует заметить, что воспринимаемая форма всё же обычно несколько отличается от реальной физической формы. Например, в случае эллипсов, подобных показанным на рис. 5, человек, как правило, видит фигуру с пропорциями, промежуточными между пропорциями физического объекта и его сетчаточного отображения. Это пример так называемого компромисса восприятия, характерного для зрения человека в разных проявлениях.

Иногда при недостатке информации человек вообще не в состоянии найти единственное решение и сформировать определённый видимый образ. Один из таких случаев представлен на рис. 6, где слева и справа в двух ориентациях дано одно и то же изображение, взятое из книги Ж.Ниньо [14]. Несмотря на идентичность картинок, слева мы видим выпуклую фигуру – как бы окаменевшую морскую звезду, а справа – вогнутую фигуру, отпечаток этой звезды. При повороте страницы на 180° эти образы меняются местами. В подобных ситуациях видимая картина формируется на основе априорных гипотез об освещении, что даёт разные результаты при разной ориентации.

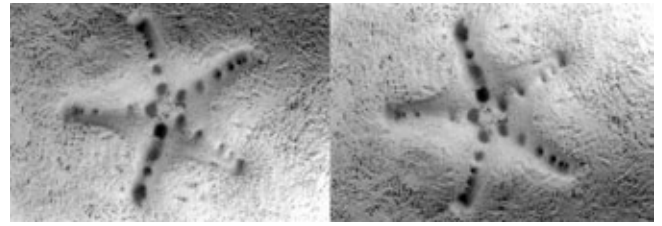


Рис. 6. Пример неоднозначного изображения: на воспринимаемую форму влияет гипотеза об освещении (из книги [14])

Что касается наличия противоречий в естественном зрительном восприятии и способов их разрешения, то один из наиболее простых и наглядных примеров этого – двоение объектов за пределами фузионной зоны, обычно нами не замечаемое. Этот феномен используется в прицельной пробе или пробе Розенбаха, предложенной около ста лет назад для определения ведущего глаза. Проба состоит в следующем. В условиях бинокулярного зрения человеку предлагают смотреть на некоторую мишень – точку или вертикальную линию, удалённую на 3–5 м. Дав испытуемому в руки карандаш, просят поставить этот карандаш в вертикальном положении точно напротив мишени. Затем предлагается по очереди закрыть левый и правый глаз. При закрывании ведущего глаза карандаш как бы «отскакивает» в сторону, при закрывании подчинённого глаза он виден на прежнем месте.

Проба основана на том, что при большом различии в расстояниях до карандаша и удалённой мишени зрительная система человека не может одновременно формировать для обоих объектов слитные бинокулярные образы. При фиксации удалённой мишени фузируется именно мишень, а видимый образ карандаша двоится, т.е. фактически в восприятии присутствуют два образа карандаша, которые создаются автономно с участием левого и правого глаза. Однако в процессе нацеливания человек обычно не испытывает затруднений: он бессознательно отдаёт предпочтение образу, формируемому ведущим глазом, и концентрирует своё внимание на этом «избраннике», иногда полностью игнорируя и даже не замечая «двойника». Соответственно, когда закрывается подчинённый глаз, видимый образ карандаша не меняется, а когда закрывается ведущий глаз, «избранник» пропадает и происходит его замена на «двойника», что воспринимается как скачок прежнего образа в сторону.

Пробу Розенбаха не всегда удаётся провести успешно. Дело в том, что не все испытуемые легко отключаются от «двойника». В процессе нацеливания карандаша на точку многие испытывают затруднения, так как видят два равноправных образа карандаша и не знают, которому из них отдать предпочтение. Как правило, это бывает в случаях, когда доминирование ведущего глаза выражено слабо.

Ограничившись этими убедительными, на наш взгляд, примерами существования проблем и противоречий в естественных условиях зрительного восприятия, перейдём к сравнению восприятия фильмов в разных форматах.

Условия восприятия фильмов в 2D формате отличаются от условий естественного наблюдения не только тем, что мы рассматриваем изображения, соответствующие одному углу наблюдения, т.е. позиции одного глаза, но и тем, что мы смотрим на это изображение двумя глазами. Такое зрение можно назвать квазимонокулярным, поскольку при монокулярном зрении мы смотрим одним глазом, а второй не получает никакого изображения (он закрыт или прикрыт заслонкой). В плане восприятия объёмности и глубины квазимонокулярные условия наблюдения хуже, чем монокулярные. Очевидно, что здесь постоянно возникают принципиальные и неустранимые противоречия с каждодневным опытом наблюдения естественных сцен, которые всегда воспринимаются левым и правым глазом несколько по-разному. Чтобы подчеркнуть эту особенность квазимонокулярного наблюдения, на рис. 7 для сравнения приведены два кадра: слева – обычный кадр, какие мы вынужденно видим двумя глазами при демонстрации фильма в формате 2D, а справа – наложение левого и правого кадров, снятых стереоскопическим фотоаппаратом, демонстрирующее ожидаемое различие между левым и правым изображениями для рассматриваемой сцены.

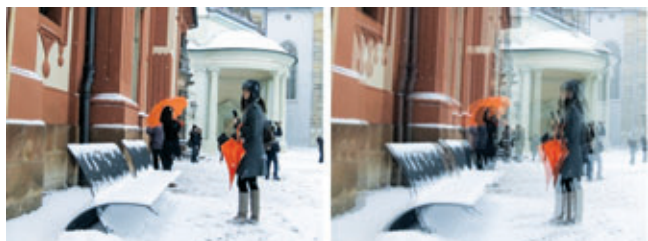


Рис. 7. Обычный кадр (слева) и наложение кадров, снятых стереоскопическим фотоаппаратом (справа)

При полной идентичности левого и правого изображений мозг получает от бинокулярных механизмов сильное указание на то, что наблюдаемая сцена – плоская, а не объёмная, независимо от её содержания. В той или иной степени это снижает пластичность во всех случаях просмотра фильмов в 2D формате или произведений живописи на холсте.

Данный факт отмечали многие специалисты, в частности Б.В. Раушенбах, по меткому выражению которого бинокулярные механизмы «самым энергичным образом препятствуют возникновению иллюзии пространственности при взгляде на картину» [5]. Для создания иллюзии наблюдения пространственной сцены при рассмотрении плоских изображений художники и кинематографисты используют целый набор различных признаков глубины и объёмности, которые считаются монокулярными факторами, так как «работают» в пределах одного сетчаточного изображения. Сюда относятся перспективные трансформации объектов, геометрия теней, расплывчатость контуров далёких объектов из-за неполной прозрачности среды (воздушная перспектива), голубая дымка для дали из-за избирательного поглощения воздушной средой излучений разной длины волны, за-

слонение дальних объектов ближними, градиенты текстуры, градиенты светотени, различие в расстояниях наземных объектов от линии горизонта и др. Эффект глубины, обеспечиваемый всеми этими факторами, в монокулярных условиях наблюдения намного сильнее, чем в квазимонокулярных условиях. Более того, как отмечалось еще в книге В. Карпентера «Основания физиологии ума», изданной в русском переводе в 1877 г., наблюдение плоских изображений (фотографий) двумя глазами не только снижает «телесность», но и ухудшает также восприятие фактуры поверхности и свойств материала.

Помимо рассмотренных эффектов подавляющего действия второго глаза при наблюдении кадров в 2D формате, отметим ещё затруднения в работе механизмов константности формы и величины, связанные с неопределённостью воспринимаемой глубины или большими ошибками в её оценке. На рис. 8 слева показан кадр, который в 2D формате порождает сильно искажённый образ руки. Наличие больших диспропорций в воспринимаемом образе объясняется отсутствием в кадре информации о расстоянии по глубине от ладони до лица.

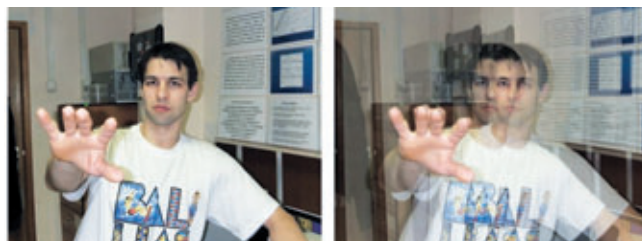


Рис. 8. Неудачный ракурс, приводящий к искажению пропорций в случае 2D формата, но более адекватно интерпретируемый в 3D формате

Заметим, что в случае 3D формата (правый кадр на рис. 8), при аналогичных «неудачных» ракурсах видимые искажения отсутствуют или не столь велики. В этом случае механизмы константности восприятия, помогающие правильно нормировать сетчаточные изображения при формировании видимых образов, получают информацию о расстоянии до разных частей изображённого тела, основываясь на значениях бинокулярных параллаксов.

В результате многолетней практики операторы обычных кинофильмов научились избегать ракурсов, вызывающих дискомфорт, и находить условия, усиливающие пластичность воспроизводимых сцен. Операторам-стереографам ещё предстоит овладеть многими специфическими эффектными приёмами. Поле деятельности у них больше, поскольку выбор выгодных ракурсов, широко используемый в 2D формате, дополняется в 3D формате возможностью варьировать съёмочный базис для наилучшего подчеркивания объёмности и свойств материала при разных расстояниях до основного объекта съёмки.

Очевидно, что из-за ряда принципиальных особенностей 2D и 3D форматов многие каноны и правила могут для них существенно различаться.

Например, частичное загромождение сцены ветвями деревьев или сетчатыми конструкциями на переднем плане очень неблагоприятно для 2D формата, так как мешает найти и рассмотреть основной предмет съёмки, и, напротив, в случае 3D формата делает кадры более выразительными, подчёркивая их протяжённость по глубине. Сочетание детально проработанного лица на переднем плане с размытым фоном хорошо для 2D формата, но для 3D формата лучше подходит фон с резкими контурами – он отодвигается за счёт бинокулярных параллаксов и отделяется от фигуры пространственным промежутком. Избегание резких перемещений и внезапных появлений объектов, мешающих анализу изображений, может быть более существенным для 3D формата, так как бинокулярная интеграция и фузия требуют дополнительного времени.

Некоторые отличия такого рода достаточно очевидны и уже известны, другие ещё предстоит выявить. Это отдельное направление исследований. В заключение мы приведём лишь один пример, убедительно иллюстрирующий возможности, открываемые 3D форматом. На рис. 9 приведены изображения масок с камуфляжной текстурой, взятые из книги Ж. Ниньо [14]. Каждая из масок практически не содержит монокулярных признаков глубины и в 2D формате воспринимается как плоский рисунок.



Рис. 9. Объекты с камуфляжной текстурой, практически не содержащие монокулярных факторов глубины, плохо воспринимаются в 2D формате, но прекрасно смотрятся в 3D формате

При фузировании левого и правого изображений с центральным изображением, т.е. как бы в 3D формате, получают детализированные образы внутренней и внешней поверхности масок. Этот рисунок можно рассматривать как переходный этап между обычными стереограммами и стереограммами из случайных точек, которые демонстрируют возможность формирования видимых образов исключительно на основе бинокулярных параллаксов [12]. Такое свойство бинокулярных механизмов человека открывает совершенно новые пути создания спецэффектов в 3D формате. Однако очевидно, что для реализации своих преимуществ 3D формат предъявляет более высокие требования к резкости изображений (при съёмке, демонстрации и наблюдении через очки), так как степень чёткости определяет предельные воспринимаемые различия левого и правого изображений, а значит – градации воспринимаемой глубины.

Естественно, что легко воспринимать 3D формат могут лишь зрители с нормально развитыми бинокулярными функциями и нормальной остротой зрения (если нужно – в очках или с контактными линзами). Такие люди составляют около 85% населения. В любой популяции имеется 2–3% лиц с косоглазием или амблиопией, у которых бинокулярное стереозрение отсутствует, в связи с чем 3D формат не даёт им никаких преимуществ.

Примерно 10% населения нуждается в некоторой предварительной тренировке ослабленных или слегка нарушенных бинокулярных функций. Разнообразие возможных бинокулярных нарушений очень велико [17], так что в настоящее время может стать актуальным вопрос о создании эффективной системы дифференциальной диагностики и оптимальной коррекции бинокулярного зрения. ■

Авторы выражают благодарность за техническую помощь Е.Н. Крутцовой и Н.П. Забалуевой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валюс Н.А. Стереоскопия. М.: Изд-во АН СССР, 1962, с. 379.
2. Валюс Н.А. Стереоскопия: Фотография, кино, телевидение. М.: Искусство, 1986, с. 263.
3. Комар В.Г., Озеров С.И. О перспективах создания безочковых систем кинотеатрального кинематографа с трёхмерным изображением // МТК № 12, 2009, с. 8–10.
4. Лурья А.П. Об историческом развитии познавательных процессов. М.: Наука, 1974.
5. Раушенбах Б.В. Геометрия картины и зрительное восприятие. СПб.: Азбука-классика, 2002, с. 314.
6. Рожкова Г.И., Васильева Н.Н., Рожков С.Н. Фузионные способности человека и возможности расширения диапазона параллаксов в стереофильмах без нагрузки на зрительную систему // МТК № 12, 2009, с. 11–15.
7. Рожкова Г.И., Панова И.Г., Хохлова Т.В., Орлов О.Ю. Механизмы фокусировки изображений в глазах камерного типа у позвоночных животных. Обзор // Сенсорные системы, 2005, Т. 19, № 3, с. 181–211.
8. Deregowski J.B. Real space and represented space: Cross-cultural perspectives // Behavioral and Brain Sciences. 1989. Vol. 12. P. 51–119.
9. He J.C., Burns S.A., Marcos S. Monochromatic aberrations in the accommodated human eye // Vision Res. 2000. V. 40. P. 41–48.
10. Hudson W. Pictorial depth perception in sub-cultural groups in Africa // The Journal of Social Psychology. 1960. Vol. 52. P. 183–208.
11. Jahoda G., McGurk H. Pictorial depth perception in Scottish and Ghananian children, A critique of some findings with the Hudson test // International Journal of Psychology. 1974. Vol. 9. No 4. P. 255–267.
12. Julesz B. Foundation of cyclopean perception. Chicago: Univ. Chicago press. 1971. P. 406.
13. Morgan M.W. Accommodation and its relationship to convergence // Am. J. Optom. And Archs. Am. Acad. Optom. 1944. Vol. 21. P. 183–195.
14. Ninio J. Stereomagie. Paris: Editions du Seuil, 1994. P. 70.
15. Ogle K.N., Schwartz J.T. Depth of focus of the human eye // JOSA. 1959. Vol. 49/ No 3. P. 273–280.
16. Schaeffel F., Wilhelm H., Zrenner E. Inter-individual variability in the dynamics of natural accommodation in humans: relation to age and refractive errors // Journal of Physiology. 1993. Vol. 461. P. 301–320.
17. Scheiman M., Bruce W. Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative and eye movement disorders. 3rd edition. Philadelphia-Baltimore-New York-London-Buenos Aires-Hong Kong-Sydney-Tokyo: Wolters Kluwer / Lippincott Williams & Wilkins, 2008. P. 134.



ОСОБЕННОСТИ БИНОКУЛЯРНОГО ЗРЕНИЯ ДЕТЕЙ В РАЗНОМ ВОЗРАСТЕ и необходимость их учёта при создании детских стереофильмов



Н.Н. Васильева, доцент кафедры возрастной и специальной психологии Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева, Чебоксары
Г.И. Рожкова, ведущий научный сотрудник Института проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва

Аннотация

Сравниваются морфологические параметры и функциональные показатели зрительной системы детей и взрослых, которые существенны для восприятия стереофильмов. Хотя способность к восприятию глубины на основе бинокулярной диспаратности появляется уже у грудных младенцев, однако бинокулярные зрительные механизмы продолжают совершенствоваться в течение многих лет – по крайней мере, до подросткового возраста. У дошкольников и младших школьников показатели бинокулярных зрительных способностей ещё значительно отличаются от взрослых нормативов. Стереострота зрения у детей хуже, бинокулярная интеграция медленнее, фузионные резервы меньше, чем у взрослых. Следовательно, при создании и демонстрации стереофильмов для детской аудитории нужно ориентироваться на специальные стандарты.

Ключевые слова: стереозрение детей, бинокулярная интеграция, фузионные резервы, детские стереофильмы, возрастные нормы, стандарты.

FEATURES OF BINOCULAR VISION OF CHILDREN AT DIFFERENT AGE AND NECESSITY OF THEIR ACCOUNT AT CREATION OF CHILDREN'S THREE-DIMENSIONAL FILMS

N. Vasilyeva, G. Rozhkova

Abstract

Morphological parameters and functional properties of the visual system, essential for stereofilm perception, are compared in children and adults. Though the capability to perceive depth on the basis of binocular disparity has been found even in infants, binocular visual mechanisms continue to improve during many years – at least, up to the adolescent age. In preschool and junior school children, the scores of binocular visual performance are still significantly differ from those of adults. In children, stereoacuity is worse, binocular intergration is slower and fusional reserves are less than in adults. Therefore, creation and demonstration of stereofilms for children should be based on special standards.

Keywords: child stereovision, binocular integration, fusional reserves, stereofilms for children, age norms, standards.

■ В связи с тем, что в последние годы усилился интерес к объёмной кинематографии и появились технические возможности для широкого распространения стереофильмов, необходимо обсудить особенности требований к стереофильмам для детской ауди-

тории, учитывая показатели бинокулярного зрения детей.

В развитии зрения детей можно выделить младенческий, дошкольный и школьный периоды, на протяжении которых наблюдается появление и совершенствование

различных зрительных способностей и всё более сложных форм зрительно-моторного поведения. Зрительные механизмы, которые необходимы для восприятия стереофильмов, начинают формироваться у детей достаточно рано. Хотя в большинстве отечественных руководств по офтальмологии развитие полноценного бинокулярного зрения относят к 5–6-летнему возрасту [1, 2, 7], данные зарубежных исследований свидетельствуют о том, что уже в 3–4-месячном возрасте некоторые младенцы проявляют способность к стереозрению на основе бинокулярной диспаратности, могут следить за движущимися объектами и прогнозировать их траекторию [13, 15–17]. Однако следует подчеркнуть, что общее развитие зрительной системы, особенно её высших уровней, продолжается и в дошкольном, и в школьном возрасте: повышается точность зрительного анализа, происходит дальнейшее совершенствование всех зрительных способностей, приобретаются навыки зрительно-когнитивной деятельности, возрастает продуктивность любой зрительной работы.

Специфика активности зрительной системы и её усложнение в разные возрастные периоды, несомненно, связаны с морфологическими преобразованиями, происходящими на разных уровнях, – с ростом глазного яблока, изменениями параметров оптической системы, формированием центральной ямки сетчатки, созреванием высших зрительных и ассоциативных областей мозга. В настоящем сообщении мы остановимся лишь на некоторых ключевых анатомических и функциональных различиях в зрительной системе детей и взрослых, существенных для восприятия стереофильмов.

Очевидно, что для функционирования бинокулярных механизмов восприятия глубины на основе диспаратности, являющейся мерой различий между изображениями объекта в левом и правом глазу, необходимо, чтобы острота зрения была достаточно высока и позволяла эти различия обнаружить и оценить. Хорошо известно, что предельно достижимая острота зрения глаза V_{\max} прямо пропорциональна фокусному расстоянию F и обратно пропорциональна расстоянию a между центрами световоспринимающих элементов сетчатки – рецепторов:

$$V_{\max} = kF/a \quad (1)$$

В свою очередь, фокусное расстояние зависит от размеров глазного яблока. Чем меньше глаз, тем меньше размеры сетчаточных изображений объектов и тем ниже потенциальная разрешающая способность глаза. Длина оси глазного яблока увеличивается на протяжении всего детства, и даже в подростковом возрасте глаза у детей ещё имеют меньшие размеры, чем у взрослых. На рис. 1 для сравнения схематически изображены глаза новорожденного младенца и взрослого человека с соблюдением реальных пропорций.

По имеющимся данным, у новорожденных средняя длина продольной оси глаза составляет 17,3 мм, а у взрослых – 24,5 мм. Наиболее быстро глаз растёт в течение первого

года жизни, к концу которого длина оси увеличивается примерно на 2 мм и достигает 19,5 мм. Затем рост глаза замедляется: в 3 года средняя длина продольной оси составляет 20,5 мм, у школьников начальных классов – около 21,5 мм, в подростковом возрасте – 22,5 мм. Принимая во внимание эти цифры, можно заключить, что в дошкольном возрасте только из-за размера глаз острота зрения детей может быть в 1,2 раза ниже, чем у взрослых. Но ещё сильнее на остроте зрения может сказываться состояние сетчатки и центральных мозговых отделов зрительной системы.

Сетчатка – внутренняя оболочка глаза, содержащая слой светочувствительных клеток – фоторецепторов, и несколько слоёв нейронных элементов. Этот первый нейронный отдел зрительной системы обеспечивает трансформацию светового потока в электрические сигналы и их первоначальную переработку. У новорожденных сетчатка сравнительно хорошо развита на периферии, но не в центральной части, где отсутствует очень важная структура – центральная ямка (фовеа), отвечающая у взрослых за организацию движений глаз и самый тонкий зрительный анализ. Незрелость сетчатки у младенцев выражается не только в отсутствии фовеа, но и в малой плотности колбочковых фоторецепторов в центре: она примерно в 13 раз меньше, чем у взрослого человека. Редкое расположение колбочек в фовеальной области является одним из основных факторов, ограничивающих пространственное разрешение у младенцев [14].

В отличие от взрослых, у младенцев плотность рецепторов максимальна не в области, соответствующей пересечению сетчатки зрительной осью, а в кольцевой зоне, имеющей радиус около 5° . Можно предположить, что это связано с особенностями зрительного окружения младенцев, которые на протяжении первых месяцев жизни общаются преимущественно с матерью. Когда ребёнок находится на руках у матери, в область этого кольца попадают проекции наиболее важных и наиболее контрастных элементов лица – глаз и рта (рис. 2), что может способствовать запоминанию и узнаванию лица матери.

Развитие сетчатки идёт быстрыми темпами, и уже к 6–7 месяцу жизни центральная ямка оказывается достаточно хорошо сформированной, а к 15 месяцам общая структура сетчатки выглядит почти зрелой. Однако более тонкие изменения прослеживаются, по крайней мере, до четырёх лет. В результате миграции фоторецепторов к

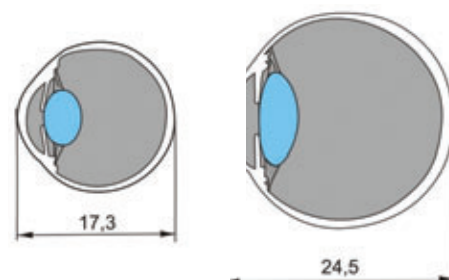


Рис. 1. Сопоставление размеров глаза у новорожденного ребёнка и взрослого человека (по [7])



Рис. 2. Наиболее важный для младенца объект – лицо матери (а) и сопоставление кольца максимальной плотности рецепторов в сетчатке с проекцией лица при соответствующем расстоянии наблюдения (б)

центру и их утончения плотность фоторецепторов в фовеальной зоне возрастает более чем в 10 раз.

Указанные морфологические изменения и обусловленные ими функциональные перестройки создают основу для повышения остроты зрения. Наиболее быстрое увеличение остроты зрения наблюдается в первые месяцы жизни: если у новорожденного она составляет примерно 0,03, то в 3 месяца доходит до 0,1, т.е. увеличивается втрое. Средняя острота зрения в 2 года составляет около 0,5, а к концу дошкольного периода приближается к условной медицинской норме 1,0. Однако это не означает, что с этого момента острота зрения перестает увеличиваться: возрастные нормы для школьников пре-

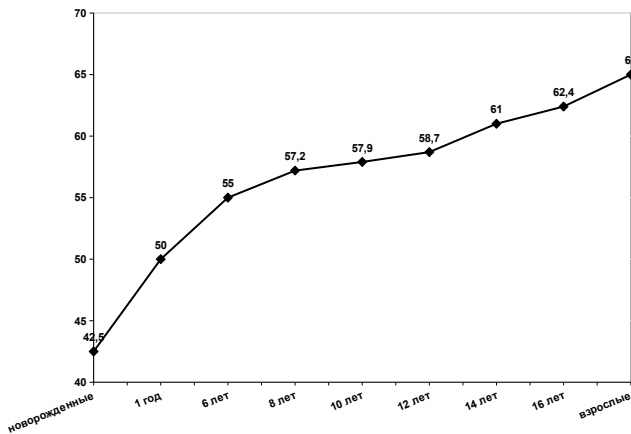


Рис. 3. Средние значения межзрачковых расстояний в разном возрасте. По оси абсцисс – возраст; по оси ординат – межзрачковое расстояние, мм

вышают 1,0 и у подростков-старшеклассников доходят до 1,8 [3, 4, 10]. Таким образом, при разработке нормативов для дошкольной аудитории нужно рассчитывать на остроту зрения, в 2–3 раза меньшую, чем у старших школьников и взрослых.

Более того, нужно ещё учитывать, что не с любого расстояния дошкольники могут долго рассматривать изображения. Это было, в частности, обнаружено при измерениях остроты зрения. Исследование у детей остроты зрения при расстояниях 3–5 м до тест-объектов далеко не всегда оказывалось возможным. При показе тестов с расстояния более 1,25–2,5 м часто бывает трудно добиться ответа от дошкольников 2–3-летнего возраста [9]. По-видимому, указанные трудности во многом связаны с незрелостью механизмов управления вниманием. Этот факт нужно учитывать при демонстрации детских стереофильмов, отдавая предпочтение малым помещениям и расстояниям.

Ключевой параметр бинокулярной зрительной системы, который важно учитывать как при съёмке, так и при показе стереофильмов – это межзрачковое расстояние. Данный параметр также существенно меняется с возрастом (рис. 3).

У новорожденного ребёнка межзрачковое расстояние в среднем равно 42,5 мм, в дошкольном возрасте (от 1 года до 6 лет) оно увеличивается от 50 до 55 мм, а к концу обучения в школе доходит до 62–63 мм. Как известно, для взрослых в стереоскопии за нормальное значение базиса принимают 65 мм. Очевидно, что при съёмке детских стереофильмов вместо взрослого стандарта базиса зрения в 65 мм, целесообразно использовать меньшие значения: 53 мм для дошкольников и 57 мм для младших школьников.

Следует иметь в виду, что меньшее по сравнению со взрослыми, межзрачковое расстояние у детей при тех же экранных параллаксах будет обеспечивать более значительный выход виртуальных объектов в предэкранное и заэкранное пространство (рис. 4).

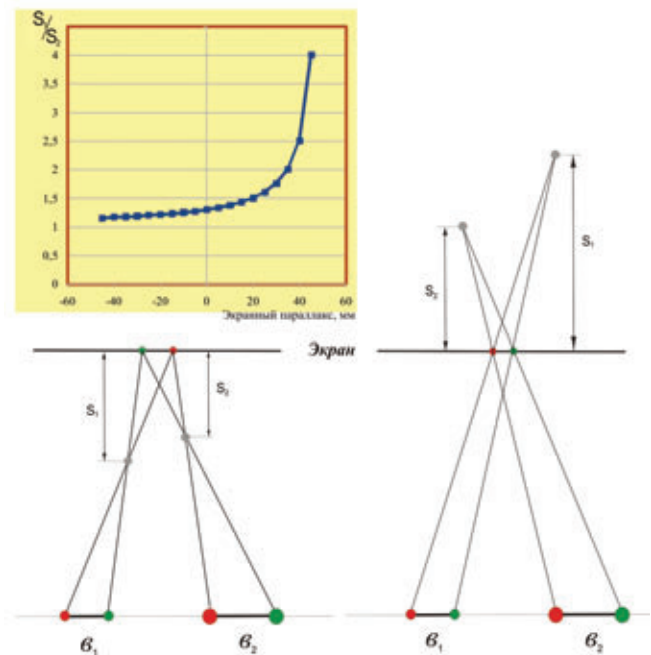


Рис. 4. Схематическая иллюстрация различий между детьми и взрослыми при восприятии глубины на основе экранных параллаксов

На рис. 4 представлены схемы перевода равных по величине отрицательных и положительных экранных параллаксов в значения воспринимаемой глубины S при разной величине базиса. Эти схемы иллюстрируют различия между детьми и взрослыми на качественном уровне, а количественные различия можно оценить по следующей простой формуле:

$$S_1/S_2 = (b_2 - d)/(b_1 - d) \quad (2)$$

где S_1/S_2 – отношение значений расчётной глубины у детей и взрослых, b_1 и b_2 – межзрачковые расстояния ребёнка и взрослого наблюдателя, а d – экранный параллакс (для точек заэкранного пространства $d > 0$, а для точек предэкранного пространства $d < 0$). График, приведённый на рис. 4, показывает расчётные соотношения при значениях базисов 50 мм (младшие дошкольники) и 65 мм (взрослые зрители). Как видно из формулы (2), при малых значениях экранных параллаксов (объекты близки к плоскости экрана) отношение значений глубины обратно отношению базисов, и в приведённом примере составляет 1,3. По мере всё большего выхода в предэкранное пространство ($d < 0$) отношение S_1/S_2 медленно уменьшается, стремясь в пределе к 1,0, а по мере удаления в заэкранное пространство ($d > 0$) – увеличивается, причём с нарастающей скоростью и до весьма больших значений. На графике видно, что при $d = 45$ мм отношение S_1/S_2 становится равным 4,0. Такой характер нарастания отношения S_1/S_2 с увеличением положительного экранного параллакса d легко понять, если принять во внимание, что приближение параллакса к первому («детскому») значению базиса означает параллельную установку зрительных осей у ребёнка и устремление соответствующей глубины к бесконечности.

Отметим, что в фильмах для детей дошкольного возраста при создании стереозффектов «с выходом из экрана в зал» и сильным приближением рассматриваемых объектов к зрителю желательно не допускать попадания этих виртуальных объектов в мануальное пространство ребёнка. Так как у дошкольников ещё не вполне сформирована система зрительно-моторного взаимодействия, попытки детей дотронуться до виртуальных объектов, неизбежно заканчивающиеся неудачным исходом – промахом, могут нарушать закрепление связей между зрительной, тактильной и проприоцептивной информацией, создавать конфликт между механизмами, замедлять развитие координации «глаз-рука».

Более специфические, с точки зрения восприятия стереофильмов, различия между детьми и взрослыми определяются различиями в показателях функционирования бинокулярных зрительных механизмов. К таким показателям относятся: острота стереозрения, фузионные резервы, скорость бинокулярной интеграции и ряд других способностей, которые совершенствуются, по крайней мере, до подросткового возраста.

Приведём данные по улучшению показателей функционирования бинокулярных механизмов с возрастом.

Как уже было отмечено, механизмы восприятия глубины на основе бинокулярной диспаратности формируются очень рано [13, 15, 16]. Фактически уже с 2–3 месяцев бинокулярное зрение младенцев за рубежом проверяют при помощи стереограмм, в том числе – случайно-точечных. При тестировании детей используют метод зрительного предпочтения в модификации, позволяющей использовать стимулы с разным сдвигом объектов по глубине.

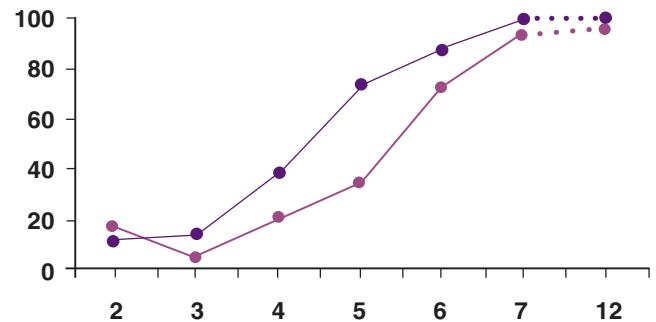


Рис. 5. Развитие стереозрения у младенцев (по [9]).

По оси абсцисс – возраст, мес.; по оси ординат – процент детей, воспринимающих смещение по глубине при диспаратности, меньшей или равной 1'

На рис. 5 приведены результаты исследования стереоостроты зрения младенцев методом зрительного предпочтения при использовании тестовых стимулов, состоящих из трёх вертикальных полос [15]. В условиях поляризационной сепарации левого и правого изображений детям предъявляли рядом две стереограммы, одна из которых кодировала три вертикальных полосы в одной плоскости, а другая создавала впечатление сдвига полос по глубине. Если ребёнок видел этот сдвиг, он предпочитал смотреть на данную стереограмму; в противном случае, он с равной вероятностью обращал взгляд на ту и на другую.

Сплошная кривая отражает быстрое нарастание с возрастом процента детей, демонстрирующих наличие стереозрения по реакциям на полосы, выступающие из фона – на зрительные стимулы с отрицательной диспаратностью, меньшей или равной 1' (значение 1' принято за критический уровень для выявления «стереослепоты» у взрослых). В возрасте 7 месяцев уже практически все дети, не имеющие зрительных аномалий, способны воспринимать различие по глубине при такой диспаратности. Пунктиром показано, что механизмы анализа положительной диспаратности созревают несколько позже – с запозданием примерно на 1 месяц.

Напомним, что у взрослых людей нормальные пороговые значения диспаратности составляют единицы угловых секунд: приводимые в литературе средние значения порогов колеблются в интервале от 5" до 12" [8,18]. В ходе нашего исследования стереоостроты зрения у школьников [5] было обнаружено, что показатели такого уровня встречаются уже у первоклассников, одна-

ко средние значения стереопорогов в этом возрасте значительно больше – они составляют десятки угловых секунд. На протяжении школьного периода стереозрение у детей существенно улучшается: значения стереопорогов для оптимальных стимулов снижаются примерно от 30" до 10", причём большинство детей достигает взрослой нормы в 14–15 лет. Следовательно, при создании стереофильмов для дошкольников и младших школьников нужно ориентироваться на значения стереоостроты зрения в 2–3 раза более низкие, чем у взрослых.

Созревание бинокулярных зрительных механизмов у детей выражается также в увеличении скорости бинокулярной интеграции. Бинокулярная интеграция характеризуется способностью зрительной системы формировать целостный образ объекта на основе двух неполных изображений в правом и левом глазу. Каждое сетчаточное изображение, как правило, имеет локальные изъяны, связанные с существованием слепого пятна и ангиоскотом, окклюзией, влиянием рассеянного света, наличием бликов на гладких поверхностях. Человек редко замечает эти изъяны даже в условиях монокулярного зрения, так как благодаря движениям глаз и головы проекция каждого объекта на сетчатке всё время смещается, а угол наблюдения меняется. В бинокулярных условиях восприятия, помимо движений глаз, имеется дополнительная возможность борьбы с указанными дефектами – совместная обработка двух сетчаточных изображений. Однако, для того, чтобы механизмы объединения изображений, формируемых на сетчатках обоих глаз, успешно работали, необходимо определённое время. В наших экспериментах по исследованию скорости бинокулярной интеграции у детей и взрослых при помощи интерактивной компьютерной программы, предъявляющей фрагментарные изображения букв в условиях дихоптической стимуляции, были получены результаты, представленные на рис. 6. Кривые рис. 6, а отражают увеличение вероятности правильного узнавания букв с увеличением времени предъявления стимулов у дошкольников, первоклассников, третьеклассников и взрослых, а на рис. 5, б показаны длительности экспозиции, необходимые в разном возрасте для достижения 75% правильных ответов [11].

Приведённые кривые демонстрируют значительное улучшение показателей опознавания с возрастом: видно, что у дошкольников и первоклассников бинокулярная интеграция осуществляется заметно медленнее, чем у взрослых, а в третьем классе показатели статистически не отличаются от взрослых. Если оценивать критическое время опознавания по уровню 75% правильных ответов, получится, что взрослые испытуемые и третьеклассники достигали этого уровня при экспозиции около 100 мс, первоклассники – 175 мс, а дошкольники – 270 мс, т.е. у дошкольников фактически скорость бинокулярной интеграции была в 2,7 раза меньше, чем у взрослых. Это различие должно быть принято во внимание при определении ограничений по скорости изменения изображений на киноэкране.

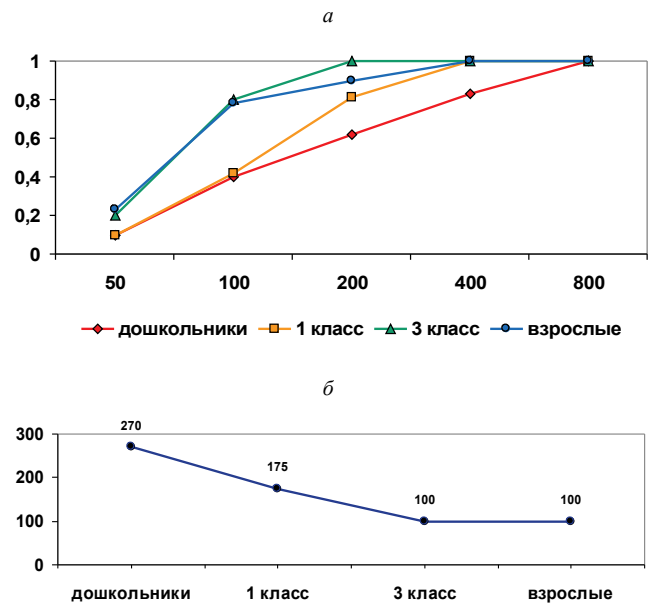


Рис. 6. Показатели бинокулярной интеграции у детей и взрослых: а – кривые зависимости средних значений вероятности правильного ответа от времени предъявления стимулов в условиях дихоптической стимуляции у детей разного возраста и у взрослых; по оси абсцисс – время предъявления стимулов, мс; по оси ординат – вероятность правильного ответа; б – время экспозиции, необходимое в разном возрасте для достижения 75% правильных ответов

Возможно, наиболее важным для восприятия стереофильмов показателем бинокулярного зрения являются фузионные резервы. Фузионные резервы характеризуют прочность, помехоустойчивость и гибкость механизмов фузии, обеспечивающих формирование единого трёхмерного образа. Для оценки фузионных резервов производят рассогласование аккомодации и конвергенции (например, ставя перед глазом призмы, меняющие направление световых лучей от предмета) и находят критические углы отклонения зрительных осей в сторону избыточной конвергенции или дивергенции, превышение которых ведёт к двоению видимого образа. Получаемые численные оценки фузионных резервов сильно зависят от параметров тест-объектов и условий измерения, что затрудняет сопоставление данных, опубликованных разными авторами. Это отчасти объясняет, почему в офтальмологических руководствах приводятся лишь очень приблизительные данные по зависимости фузионных резервов от возраста. Для уточнения возрастной динамики этого показателя мы исследовали фузионные резервы более чем у 500 детей разного возраста и у молодых взрослых по единой методике при помощи специально разработанной компьютерной программы [6]. Было обнаружено, что подобно другим бинокулярным показателям, фузионные резервы заметно увеличиваются с возрастом (рис. 7). Наиболее быстрый темп увеличения как конвергентных, так и дивергентных резервов отмечается в возрасте от 5 до 11 лет (по медианам: от $11,0 \pm 3,3^\circ$ до $18,2 \pm 3,8^\circ$ – для конвер-

гентных, и от $-5,4 \pm 1,7^\circ$ до $-8,1 \pm 1,9^\circ$ – для дивергентных резервов).

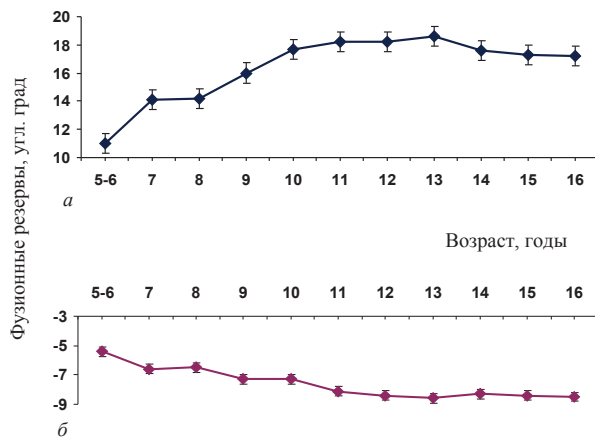


Рис. 7. Медианы показателей фузионных резервов у испытуемых разного возраста: а – конвергентные резервы; б – дивергентные резервы; по оси абсцисс – возраст; по оси ординат – фузионные резервы (угл. град)

Приведённые данные по возрастной динамике бинокулярных показателей у детей – стереостроты зрения, бинокулярной интеграции, фузионных резервов, указывают на то, что соответствующие зрительные механизмы формируются постепенно, в течение многих лет, и достигают уровня взрослой нормы только в подростковом возрасте. У дошкольников и младших школьников все критические параметры существенно отличаются от взрослых, что необходимо учитывать при создании стереофильмов, ориентированных на детскую аудиторию.

В то же время, отмечая недостаточную зрелость бинокулярных механизмов у детей, следует подчеркнуть, что дети имеют значительное преимущество перед взрослыми в плане гибкости механизмов зрительного восприятия и большей готовности к принятию виртуальной реальности.

На основе всех полученных к настоящему времени данных о морфофункциональном созревании бинокулярной зрительной системы в дошкольном и младшем школьном возрасте можно сформулировать следующие предварительные рекомендации по съёмке стереофильмов для детей.

Вместо принятого взрослого стандарта базиса зрения в 65 мм, целесообразно принимать в расчёт 53 мм для дошкольников, и 57 мм для младших школьников.

Размеры объектов и проработка деталей в детских стереофильмах должны соответствовать стереостроте зрения, сниженной в 2–3 раза по отношению к взрослой норме.

Скорости изменения и движения бинокулярных объектов не должны выходить за пределы, определяемые временем бинокулярной интеграции, которая осуществляется у детей значительно медленнее, чем у взрослых (у дошкольников – более чем вдвое).

Поскольку дивергентные фузионные резервы у дошкольников и младших школьников невелики, в детских

стереофильмах не следует использовать положительные экранные параллаксы, превышать средние межзрачковые расстояния для данной возрастной категории.

Не следует допускать попадания виртуальных объектов в мануальное пространство дошкольников, чтобы не повредить развитию координационных механизмов «глаз-рука».

В связи с тем, что для привлечения внимания детей младшего возраста и длительного рассматривания ими изображений лучше подходят небольшие расстояния до экрана (1–2 м), наиболее перспективным направлением для дошкольников представляется домашнее стереокино. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аветисов Э.С.* Охрана зрения детей. М.: Медицина, 1975, с. 272.
2. *Аветисов Э.С., Столянинова Л.И.* Психофизиология зрительного восприятия // Физиология человека и животных. М., 1976, с. 117.
3. *Базарный В.Ф.* Зрение у детей. Проблемы развития. Новосибирск: Наука, 1991, с. 138.
4. *Бондарко В.М., Данилова М.В., Красильникова Н.Н., Леушина Л.И., Невская А.А., Шелепин Ю.Е.* Пространственное зрение. СПб.: Наука, 1999, с. 218.
5. *Васильева Н.Н., Рожкова Г.И., Белозёров А.Е.* Возрастная динамика остроты стереозрения у школьников // Сенсорные системы, 2010, Т. 24, № 3.
6. *Васильева Н.Н., Рожкова Г.И.* Возрастная динамика фузионных резервов, измеренных при помощи циклопических тест-объектов с маркерами // Сенсорные системы, 2009, Т. 23, № 1, с. 40–50.
7. *Ковалевский Е.И.* Глазные болезни. М.: Медицина, 1980, с. 432.
8. *Кропман И.Л.* Физиология бинокулярного зрения. Л.: Медицина, 1966, с. 206.
9. *Куликова С.В.* Апробация зарубежных методик оценки остроты зрения у детей с 1.5 лет: Леа-символьные тесты и тест БАСТ // Сборник трудов Санкт-Петербургского института раннего вмешательства / Ред. Л.А. Чистович и О.В. Давтян. СПб, 1996, с. 53–62.
10. *Рожкова Г.И., Матвеев С.Г.* Зрение детей: проблемы оценки и функциональной коррекции. М.: Наука, 2007, с. 315.
11. *Рожкова Г.И., Васильева Н.Н., Токарева В.С.* Бинокулярная интеграция у детей дошкольного и младшего школьного возраста // Сенсорные системы, 2002, Т. 16, № 3, с. 221–229.
12. *Хювяринен Л.* Зрение у детей: нормальное и с нарушениями. СПб.: Петербург-XXI век, 1996, с. 72.
13. *Atkinson J.* The developing visual brain. New York: Oxford University Press Inc., 2000, p. 211.
14. *Banks M.S., Bennett P.J.* Optical and photoreceptor immaturities limit the spatial and chromatic vision of human neonates // J. Opt. Soc. Amer. 1988, Vol. 5, p. 2059–2079.
15. *Birch E.E., Gwiazda J., Held R.* Stereoacuity development for crossed and uncrossed disparities in human infants // Vision Res, 1982, Vol. 22, p. 507–513.
16. *Held R., Birch E.E., Gwiazda J.* Stereoacuity of human infants // Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 1980, Vol. 77, No 9, p. 5572–5574.
17. *Roucoux A., Culee C., Roucoux M.* Development of fixation and pursuit eye movements in human infants // Behav. Brain Res, 1983, Vol. 10, No 1, p. 133–139.
18. *Westheimer G.* The Ferrier Lecture, 1992. Seeing depth with two eyes: stereopsis // Proc. R. Soc. Lond. B, 1994, Vol. 257, p. 205–214.



А.Е. Белозёров,
к.ф.-м.н., д.б.н., ИППИ
им. А.А. Харкевича РАН

НЕЙРОННЫЕ МЕХАНИЗМЫ СТЕРЕОВОСПРИЯТИЯ: норма и распространённые нарушения

Аннотация

Обсуждаются нейрофизиологические механизмы стереопсиса. Приведены данные о влиянии на стереопсис различных параметров бинокулярных стимулов. Сравниваются результаты исследований стереопсиса в основном диапазоне воспринимаемых пространственных частот у людей с нормальным зрением и с различными видами зрительных нарушений. На основе изложенных данных сделан ряд рекомендаций по подготовке материала и параметрам проекции стереоскопических изображений.

Ключевые слова: стереопсис, пространственные частоты.

■ Стереопсис – один из механизмов пространственного зрения. Он выражается в субъективном ощущении глубины пространства при бинокулярном зрении вследствие сетчаточной горизонтальной диспаратности. В процессе эволюции зрительного анализатора стереопсис как бинокулярный механизм развился существенно позже, чем, например, стереокинетический механизм, использующий монокулярные динамические признаки – двигательный параллакс и изменение размеров [8]. Стереопсис обеспечивает наиболее точную оценку расстояния, до 2", причём до неподвижных объектов и с фиксированного положения наблюдения. Однако многие заболевания и даже некоторые небольшие аномалии зрительной системы способны отрицательно повлиять на стереопсис [13], так же, впрочем, как тренировки могут значительно его улучшить.

Исследования стереопсиса в области пространственных частот были начаты С. Schor и I. Wood (1983). Были проведены многочисленные эксперименты по измерению пространственно-временных параметров стереопсиса, верхних пределов диспаратности и по исследованию частотной зависимости порога стереозрения от раз-

NEURAL MECHANISMS OF STEREOVISION: NORM AND COMMON DISORDERS

A. Belozërov

Abstract

The neurophysiological mechanisms of stereopsis are discussed. The data illustrating the influence of various binocular stimulus parameters on stereopsis are presented. The thresholds of stereopsis in the main range of perceived spatial frequencies are compared in people with normal vision and with a number of visual disorders. On the basis of these data, some recommendations regarding stereoimage creation and the parameters of stereo projection are made.

Keywords: stereopsis, spatial frequencies.

личий монокулярных контрастов и пространственных частот изображений в стереопаре [19, 22, 31, 25, 21, 14]. Их результаты показали различие стереоскопического восприятия на низких и высоких пространственных частотах (табл. 1). Порог стереоскопического зрения на низких пространственных частотах обратно пропорционален частоте – эту закономерность называют «корреляцией размера и диспаратности». Пространственно-частотные стереопороги слабо зависят от контраста стимула [35]. Однако на низких частотах при уменьшении контраста одного из изображений порог стереозрения увеличивается в большей степени, чем при одинаковом снижении контраста обоих изображений («парадокс стереоконтраста»). На высоких частотах этот эффект почти не проявляется: стереопороги определяются наименьшим из контрастов. На низких частотах инверсия стимулов повышает чувствительность к диспаратности, а на высоких – понижает её. Кратковременное предъявление стимулов в меньшей степени увеличивает стереопорог для низких пространственных частот, чем для высоких. Такие различия свидетельствовали о том, что стереоскопическое восприятие на низких и высоких простран-

Табл. 1. Влияние параметров бинокулярных стимулов на качество стереопсиса

Низкие пространственные частоты	Высокие пространственные частоты
Точность и пределы обратно пропорциональны частоте («корреляция размера и диспаратности»)	Точность и пределы слабо зависят от частоты
При неравном контрасте стереопсис хуже, чем при равном («парадокс стереоконтраста»)	Качество стереопсиса определяется меньшим контрастом
Инверсия стимулов улучшает стереопсис	Инверсия стимулов ухудшает стереопсис
Кратковременное предъявление слабо ухудшает стереопсис	Кратковременное предъявление сильно ухудшает стереопсис

ственных частотах обеспечивают разные по природе механизмы.

Хотя психофизические исследования стереопсиса проводятся очень давно (публикации Уитстоуна датируются первой половиной XIX века), изучение нейрофизиологических основ этого явления началось лишь в конце 60-х годов XX века с работ Н.В. Barlow и др. (1967), J.D. Pettigrew и др. (1968), обнаруживших в первичной зрительной коре кошки нейроны, селективные к диспаратности. Спустя 10–20 лет G.F. Roggio и др. (1977, 1985) в опытах с обезьянами показали, что одни нейроны возбуждаются при стимуляции объектами вблизи горютера, а другие – тормозятся; одни нейроны откликаются на перекрёстную диспаратность, а другие – на неперекрёстную. К настоящему времени нейроны, обладающие селективностью к диспаратности, обнаружены во многих зонах зрительной коры приматов (рис. 1) – V1, V2, V3, MT (middle temporal), MST (medial superior temporal) и IT (inferotemporal). При этом парвоцеллюлярная система отвечает за статический стереопсис, а магноцеллюлярная – за динамический. На предыдущем уровне, в наружном коленчатом теле, нейроны такими свойствами не обладают, хотя у некоторых из них отклик на сигналы от одного глаза может модулиро-

ваться сигналами с другого глаза. В исследованиях В.Г. Cumming и др. (1999) было показано, что нейроны поля V1 чувствительны лишь к абсолютной диспаратности, т.е. к относительному положению изображений одного объекта на двух сетчатках. Стереоскопическое же восприятие определяется главным образом относительной диспаратностью, т.е. разницей абсолютных диспаратностей двух или нескольких объектов. Чувствительность к относительной диспаратности появляется на более высоких уровнях – например, у некоторых нейронов поля V2 [33] и латеральной части MST [17].

Исследователи рассматривали два возможных механизма чувствительности нейронов стриарной коры к диспаратности – по взаимному расположению рецептивных полей одинакового профиля, относящихся к правому и левому глазу, и по фазовому сдвигу между полями с одинаковым пространственным расположением (рис. 2). Изучение первого из них, позиционного, было начато Т. Nikara и др. (1968), D.E. Joshua и др. (1970), второго, фазового, – М. Nomura и др. (1990), R.D. Freeman и др. (1990), G.C. DeAngelis и др. (1991). Позже А. Anzai и др. (1997, 1999) показали, что в зрительной системе наличествуют оба этих механизма, взаимно дополняя друг друга. При этом позиционные сдвиги рецептивных полей не

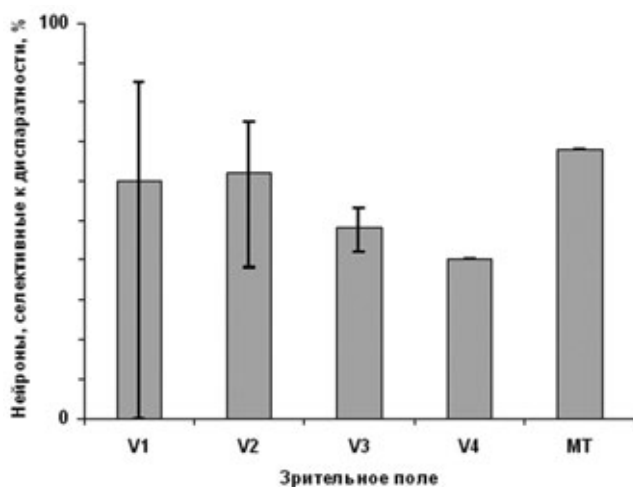


Рис. 1. Оценка количества нейронов в различных областях зрительной коры, обладающих селективностью к бинокулярной диспаратности (Lennie P., 1998)

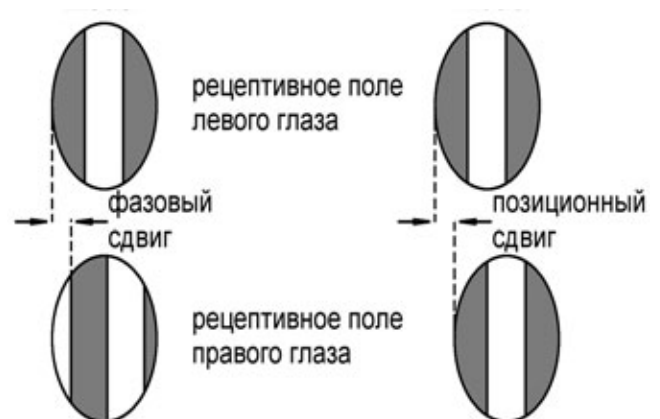


Рис. 2. Модель фазового (слева) и позиционного (справа) механизмов стереопсиса

коррелируют с ориентацией рецептивных полей, а фазовые сдвиги имеют ориентационную анизотропию в пользу вертикальной ориентации по сравнению с горизонтальной. В бинокулярных нейронах с простыми рецептивными полями, размеры которых соответствуют низким пространственным частотам, оба механизма, фазовый и позиционный, реализованы одновременно [10; 34]. На рис. 3 показаны экспериментально полученные С. Schor и др. (1984) пределы фузии наблюдателя-человека (кружки) в сравнении с расчётными в случае фазового (сплошная линия) и позиционного (штриховая линия) восприятия диспаратности. Видно, что при увеличении пространственной частоты примерно до 2 цикл/град предел уменьшается в соответствии с моделью фазовых сдвигов, а затем становится постоянным, согласуясь с моделью позиционных сдвигов. А. Anzai с коллегами получили похожие результаты, показав, что на низких пространственных частотах верхний предел восприятия диспаратности лимитируется фазовым механизмом, а на высоких – позиционным. В стереопсисе граница между низкими и высокими пространственными частотами проходит в интервале 2–3 цикл/град [12, 22, 32, 21].

С помощью оригинальной компьютерной методики [1], позволяющей управлять диспаратностью стимулов с точностью порядка 1", были проведены исследования стереопсиса в рамках пространственно-частотного подхода у школьников и взрослых [4, 5]. В норме кривые зависимости порога стереоскопического зрения от пространственной частоты имеют U, V или W-образную форму (рис. 4). За период обучения в школе пороги стереозрения уменьшаются в 3–4 раза (рис. 5), приходя к взрослой норме. При этом границы нормы достаточно широки: на низких пространственных частотах стереопороги могут различаться в 8–15 раз, на средних, где пороги минимальны, – в 6–12 раз, и на высоких частотах – до 20 раз (рис. 6). Наименьшие значения стереопорогов наблюдаются на частотах 1,4–2,0 цикл/град.

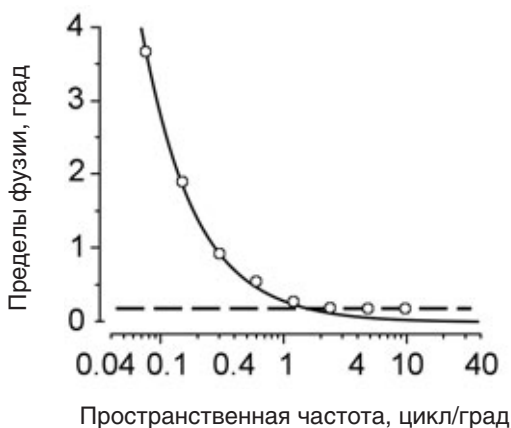


Рис. 3. Психофизические данные зависимости пределов фузии человека от пространственной частоты стимула (Schor С. и др., 1984) – кружки. Сплошная линия – расчёт по модели фазового восприятия диспаратности, штриховая – по модели позиционного восприятия

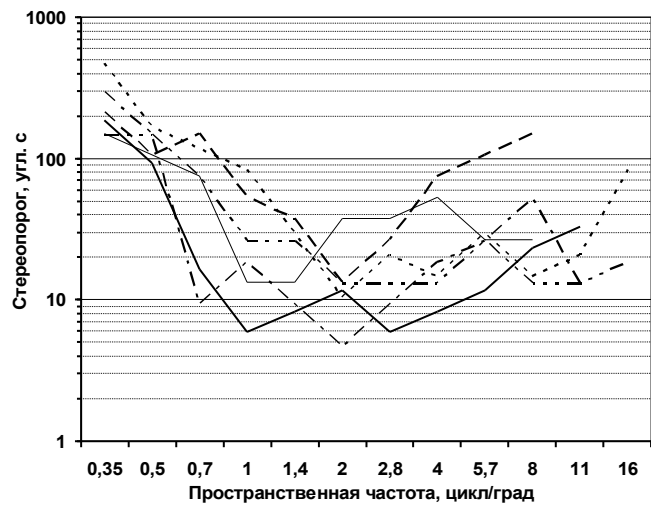


Рис. 4. Примеры графиков зависимости стереопорога от пространственной частоты у взрослых с высокой остротой стереозрения

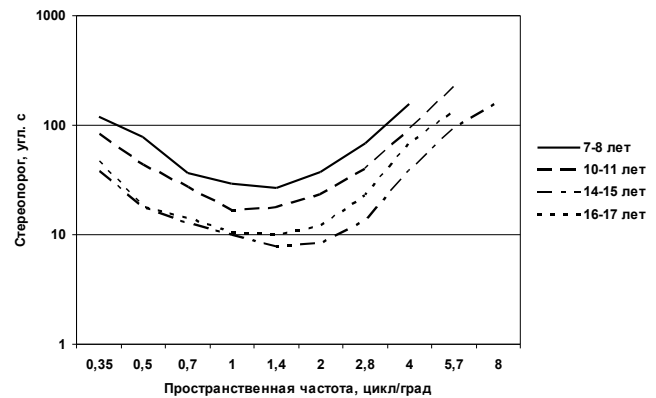


Рис. 5. Зависимость стереопорога от пространственной частоты у школьников – геометрическое среднее для разных возрастных групп

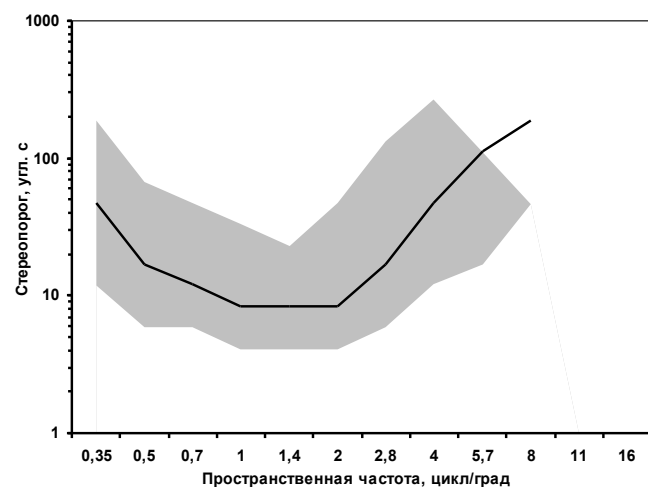


Рис. 6. Стереопсис у старшеклассников 14-17 лет – медиана и границы 95% доверительного интервала

Исследования показали, что при разных заболеваниях зрительной системы кривые пространственно-частотных стереопорогов имеют характерные особенности. В частности, были проведены исследования стереопсиса при рефракционных нарушениях [2, 9], заболеваниях проводящих путей (3, 7] и при поражении зрительной коры [2, 6].

При патологии нижних отделов зрительной системы форма кривых, как правило, сохраняется. Однако диапазон стереочувствительности укорачивается в сторону низких частот, а значения стереопорогов возрастают. Это отмечается уже при рефракционных нарушениях – близорукости и дальнозоркости, а именно, при миопии высокой степени, и ещё более выражено – при гиперметропии. Причём стереопсис у пациентов с гиперметропией нередко вообще не удаётся выявить.

При заболеваниях проводящих путей, таких как частичная атрофия зрительного нерва, которая может быть вызвана, например, перенесённой инфекцией или интоксикацией, или при рассеянном склерозе в стадии ремиссии, зачастую наблюдается лишь остаточное стереозрение на низких и средних частотах (рис. 7). Кривые становятся более пологими, а пороги в 5–10 раз превышают нормальные значения.

При поражениях постгенукулярных зрительных путей (ППГЗП) наблюдались кривые пространственно-частотных стереопорогов, качественно отличающиеся от нормы. Вместо характерной U-образной формы такие кривые часто имели вид П-образной или ломаной линии, а также наклонной линии с повышением от низких частот к высоким. Примеры, показанные на рис. 8, свидетельствуют о том, что нарушение взаимодействия

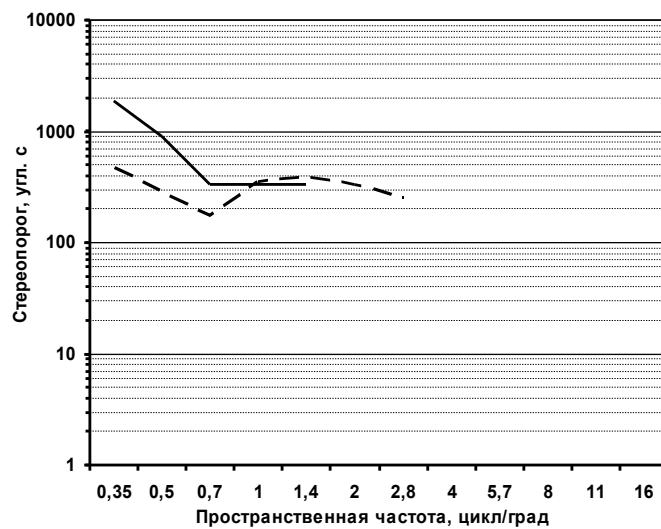


Рис. 7. Примеры остаточного стереозрения при частичной атрофии зрительного нерва у взрослого в случае рассеянного склероза в стадии ремиссии (сплошная линия) и у ребёнка после перенесённой инфекции (штриховая линия)

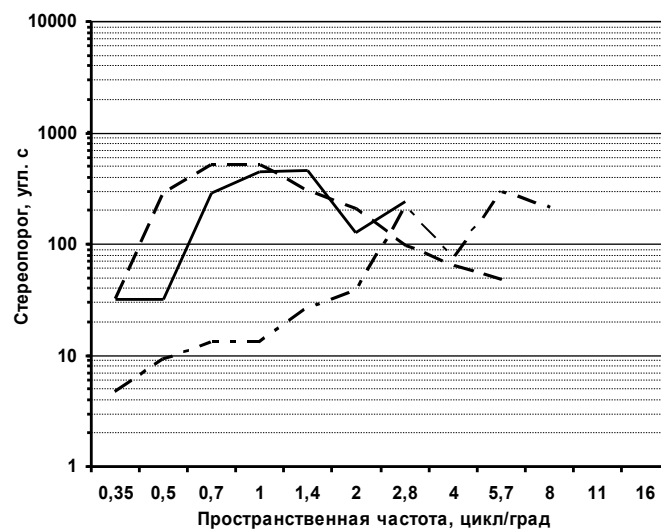


Рис. 8. Примеры нарушения «корреляции размера и диспаратности» на низких пространственных частотах при поражениях постгенукулярных зрительных путей. Сплошная линия – отёк мозга при родах (взрослый 30 лет, военный врач-офтальмолог с нормальным бинокулярным зрением), штриховая линия и штрих-пунктирная линия – ППГЗП (дети 9 и 5 лет)

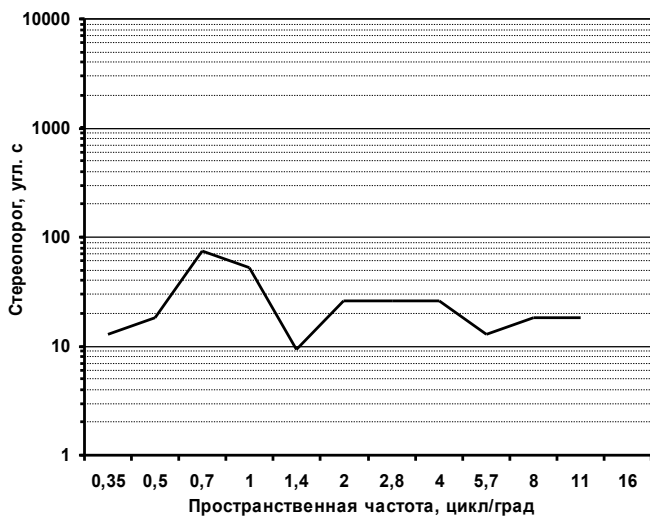


Рис. 9. Пример результата тренировки стереопсиса – взрослый 42 лет, лётчик-испытатель

фазового и позиционного механизмов восприятия диспаратности на средних пространственных частотах или ухудшение стереопсиса на высоких пространственных частотах может сопровождаться развитием гиперчувствительности к диспаратности у нейронов, отвечающих за низкие пространственные частоты. При этом острота стереозрения в обычном понимании сохраняется, что объясняется наличием в традиционных стереоскопических стимулах пространственных частот, на которых стереопороги остались близкими к норме. Примерно в 25–30% случаев кривые стереопорогов при ППГЗП напоминали таковые при оптическом неврите в стадии ремиссии, когда на низких частотах стереопороги в несколько раз превышают норму, на средних – близки к норме, а на высоких можно встретить самые разные варианты, от небольшого превышения нормы до полного отсутствия стереозрения. Как отмечает И.М. Мосин [6], у 82% детей с пренатальными ППГЗП различной этиологии имеются атрофия и/или аномалии развития зрительного нерва. По-видимому, обусловленное ими ухудшение стереопсиса оказывается преобладающим и формирует картину, полученную в этих случаях при ППГЗП.

Стереопсис, как и многие другие функции, реализуемые нейронами зрительной коры, поддается тренировкам. Примером может служить приведённая на рис. 9 кривая пространственно-частотных стереопорогов опытного лётчика-испытателя. Видно, что на низких пространственных частотах имеется очень высокая острота стереозрения, при этом, в отличие от приведённых выше случаев с нарушениями зрительной коры, на средних и высоких частотах стереопсис также остаётся в границах нормы.

Особенности стереоскопического восприятия следует учитывать при подготовке и показе статических и динамических стереоизображений. Например, анаглифиче-

ский метод визуализации цветных стереоскопических изображений не может обеспечить одинаковый контраст объектов. В этом случае, как следует из табл. 1, нужно избегать построения трёхмерных сцен из объектов большого размера с плавными градиентами яркости. Эта же таблица подсказывает, что эффекты «вылетания» объектов из экрана будут удачными лишь при достаточно большом размере объектов. Маленькие же объекты, чтобы они хорошо локализовались в объёмной сцене, следует двигать по глубине достаточно медленно и плавно. Высокая острота стереозрения на высоких пространственных частотах предъявляет повышенные требования как к горизонтальному разрешению видеоматериала и проекционного оборудования, так и к пространственным искажениям изображения на высоких пространственных частотах в результате цифрового сжатия. Шумы изображения, например, при съёмке в условиях недостаточного освещения или в результате ошибок компрессии, должны быть сглажены, чтобы не приводить к неприятным объёмным эффектам, аналогичным тому, как в стереопаре из фальшивой и подлинной денежных купюр легко выявляются мелкие отличия, невидимые в обычных условиях. Типичная величина порога стереоскопического зрения 10" говорит, в частности, о том, что если конвертация обычных изображений в стереоскопические происходит «вручную», не следует располагать в одной плоскости соседние детали изображения, относительная диспаратность которых должна была бы превышать эти 10". В противном случае, зрителям с хорошим стереозрением будет казаться, что изображение состоит из отдельных плоских частей.

Рассмотренные случаи нарушений стереопсиса не так уж редки. При этом человек даже с полным отсутствием стереопсиса, основанного на бинокулярной диспаратности, в реальной жизни может отлично различать тонкие детали трёхмерности окружающей обстановки благодаря работе стереокинетического механизма при перемещении головы. И если такому человеку с экрана предъявить статическую трёхмерную сцену без возможности изменения ракурса наблюдения, она не будет иметь никаких преимуществ перед обычным плоским изображением. Поэтому, несмотря на все трудности технического характера, не следует стереокамеру (или её «виртуальный» аналог при производстве компьютерных мультфильмов) оставлять неподвижной относительно снимаемой сцены. Её плавное перемещение, которое часто используют при обычной, не стереоскопической съёмке, даст людям с отсутствием стереопсиса привычные зрительные ощущения объёмности сцены. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Белозёров А.Е., Мосин И.М., Шамшинова А.М. Патент 2143834. Способ диагностики нарушений стереозрения, 10.01.2000.

2. Белозёров А.Е. Пространственно-частотные характеристики стереопсиса при заболеваниях зрительной системы // Современные аспекты нейроофтальмологии: IV Московская научно-практическая нейроофтальмологическая конференция / НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН. М., 2000, с. 8–10.
3. Белозёров А.Е., Мосин И.М. Особенности стереозрения у детей с ретрохиазмальными зрительными поражениями // VII съезд офтальмологов России, 16–19 мая 2000), Тезисы доклада. М.: Издательский центр «Фёдоров», 2000, ч. 1, с. 332–333.
4. Белозёров А.Е. Разработка и внедрение компьютерных функциональных методов в офтальмологии: Автореферат диссертации д.б.н., М., 2003, с. 41.
5. Васильева Н.Н., Рожкова Г.И., Белозёров А.Е. Возрастная динамика остроты стереозрения у школьников // Сенсорные системы, № 2, 2010.
6. Мосин И.М. Заболевания зрительных путей в раннем детском возрасте: этиология, клинические проявления, топическая и дифференциальная диагностика, аспекты реабилитации: Автореферат диссертации д.м.н., М., 2002, с. 44.
7. Романова Е.В., Белозёров А.Е. Стереоскопическое зрение у больных с рассеянным склерозом // Актуальные вопросы нейроофтальмологии: V Московская научно-практическая нейроофтальмологическая конференция / НИИ нейрохирургии им. акад. Н.Н. Бурденко РАМН, М., 2001, с. 82.
8. Рычков И.Л. Пространственное зрение человека и животных. Иркутск: Изд-во Иркутского университета, 1990, с. 216.
9. Эскина Э.Н. Оценка и прогнозирование результатов фоторефракционной кератэктомии: Автореферат диссертации д.м.н., М., 2002, с. 45.
10. Anzai A., Ohzawa I., Freeman R.D. Neural mechanisms underlying binocular fusion and stereopsis: Position vs. phase // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1997. Vol. 94. P. 5438–5443.
11. Anzai A., Ohzawa I., Freeman R.D. Neural mechanisms for encoding binocular disparity: receptive field position vs. phase // J. Neurophysiol. 1999. Vol. 82. P. 874–890.
12. Badcock D.R., Schor C.M. Depth-increment detection function for individual spatial channels // J. Opt. Soc. Am. A. 1985. Vol. 2, No 7. P. 1211–1216.
13. Barlow H.B., Blakemore C., Pettigrew J. D. The neural mechanism of binocular depth discrimination // J. Physiol. Lond. 1967. Vol. 193. P. 327–342.
14. Cormack L.K., Stevenson S.B., Landers D.D. Interactions of spatial frequency and unequal monocular contrasts in stereopsis // Perception. 1997. Vol. 26, No 9. P. 1121–1136.
15. Cumming B.G., Parker A.J. Binocular neurons in V1 of awake monkeys are selective for absolute, not relative, disparity // J. Neurosci. 1999. Vol. 19. P. 5602–5618.
16. DeAngelis G.C., Ohzawa I., Freeman R.D. Depth is encoded in the visual cortex by a specialized receptive field structure // Nature. 1991. Vol. 352. P. 156–159.
17. Eifuku S., Wurtz R.H. Response to motion in extrastriate area MSTl: Disparity sensitivity // J. Neurophysiol. 1999. Vol. 82. P. 2462–2475.
18. Freeman R.D., Ohzawa I. On the neurophysiological organization of binocular vision // Vision Res. 1990. Vol. 30. P. 1661–1676.
19. Halpern D.L., Blake R.R. How contrast affects stereoacuity // Perception. 1988. Vol. 17, No 4. P. 483–495.
20. Joshua D.E., Bishop P.O. Binocular single vision and depth discrimination. Receptive field disparities for central and peripheral vision and binocular interaction on peripheral single units in cat striate cortex // Exp. Brain Res. 1970. Vol. 10, No 4. P. 389–416.
21. Kontsevich L.L., Tyler C.W. Analysis of stereothresholds for stimuli below 2.5 c/deg // Vision Res. 1994. Vol. 34, No 7. P. 2317–2329.
22. Legge G.E., Gu Y.C. Stereopsis and contrast // Vision Res. 1989. Vol. 29, No 8. P. 989–1004.
23. Nikara T., Bishop P.O., Pettigrew J.D. Analysis of retinal correspondence by studying receptive fields of binocular single units in cat striate cortex // Exp. Brain Res. 1968. Vol. 6. P. 353–372.
24. Nomura M., Matsumoto G., Fujiwara S. A binocular model for the simple cell // Biol. Cybern. 1990. Vol. 63. P. 237–242.
25. Patterson R. Spatiotemporal properties of stereoacuity // Optom. Vis. Sci. 1990. Vol. 67, No 2. P. 123–128.
26. Pettigrew J.D., Nikara T., Bishop P.O. Binocular interaction on single units in cat striate cortex: simultaneous stimulation by single moving slit with receptive fields in correspondence // Exp. Brain Res. 1968. Vol. 6. P. 391–410.
27. Poggio G.F., Fischer B. Binocular interaction and depth sensitivity in striate and prestriate cortex of behaving rhesus monkeys // J. Neurophysiol. 1977. Vol. 40. P. 1392–1407.
28. Poggio G.F., Motter B.C., Squatrito S., Trotter Y. Responses of neurons in visual cortex (V1 and V2) of the alert macaque to dynamic random-dot stereograms // Vision Res. 1985. Vol. 25, No 3. P. 397–406.
29. Schor C., Wood I. Disparity range for local stereopsis as a function of luminance spatial frequency // Vision Res. 1983. Vol. 23. P. 1649–1654.
30. Schor C., Wood I., Ogawa J. Binocular sensory fusion is limited by spatial resolution // Vision Res. 1984. Vol. 24. P. 661–665.
31. Schor C., Heckmann T. Interocular differences in contrast and spatial frequency: effects on stereopsis and fusion // Vision Res. 1989. Vol. 29, No 7. P. 837–847.
32. Siderov J., Harwerth R.S. Effects of the spatial frequency of test and reference stimuli on stereo-thresholds // Vision Res. 1993. Vol. 33, No 11. P. 1545–1551.
33. Thomas O.M., Cumming B.G., Parker A.J. The responses of binocular V2 neurons to relative and absolute disparities // Soc. Neurosci. Abstr. 1999. Vol. 25. P. 2060.
34. Tsao D.Y., Conway B.R., Livingstone M.S. Receptive fields of disparity-tuned simple cells in macaque V1 // Neuron, 2003. Vol. 38. P. 103–114.
35. Wilcox L.M., Hess R.F. When stereopsis does not improve with increasing contrast // Vision Res., 1998. Vol. 38, No 23, P. 3671–3679.

Московское конструкторское бюро киноаппаратуры
Редакция журнала «Юный художник»
при поддержке Министерства Культуры РФ и Союза Кинематографистов РФ

Объявляют 3-й ежегодный конкурс детского рисунка «КИНЕМАТОГРАФ В ДЕТСКОМ РИСУНКЕ»

Для участия в конкурсе приглашаются дети в возрасте от 11 до 17 лет.
Рисунки должны отражать значение кинематографа в нашей жизни.

НОМИНАЦИИ КОНКУРСА:

- Киносъемочные процессы
- Кинотеатр будущего
- Монтажная мастерская
- Мой любимый герой российского кино
- История кинематографа

Желательно присылать рисунки размером формата А3 (30 x 42 см). Упаковывать рисунки в почтовые бандероли следует таким образом, чтобы они не мялись и не рвались при пересылке. Иначе работы не будут рассматриваться при выдвижении на выставку детского рисунка, которая в течение года будет демонстрироваться в московских кинотеатрах для детей и юношества.

НА ОБРАТНОЙ СТОРОНЕ РИСУНКА НЕОБХОДИМО ОБЯЗАТЕЛЬНО УКАЗАТЬ:

- фамилию и имя автора рисунка;
- возраст (полное количество лет) и дату рождения автора рисунка;
- точный адрес с почтовым индексом;
- телефон с кодом города;
- название рисунка;
- желательно поместить фотографию автора рисунка.

В почтовый конверт вместе с рисунками необходимо вложить сопроводительное письмо с перечнем высылаемых рисунков; адресом и телефоном авторов рисунков (при индивидуальной отправке работ на конкурс) или адресом и телефоном учебного заведения (при коллективной отправке работ на конкурс); фамилию, имя и отчество преподавателя.

ПРИ НЕ СОБЛЮДЕНИИ УСЛОВИЙ КОНКУРСА, ПРИСЛАННЫЕ РИСУНКИ НЕ РАССМАТРИВАЮТСЯ.

От одного автора принимается один рисунок. Рисунки присылаются без оформления в паспарту. После проведения конкурса работы не возвращаются и не рецензируются. Оргкомитет не вступает в переписку с участниками конкурса. Все рисунки поступают на хранение в Московское конструкторское бюро киноаппаратуры и могут быть использованы для выставок и публикаций в печати без согласия их авторов.

Из общего количества присланных работ будет отобрано 10 лучших рисунков, авторы которых станут победителями и будут награждены ценными подарками и отмечены дипломами лауреатов конкурса. Лучшие рисунки будут экспонироваться на выставке в московских кинотеатрах для детей и юношества, в Московском Доме Кино, помещены на сайте www.mkbk.ru или опубликованы в журнале «Юный художник». Все участники конкурса получают благодарственные письма от Оргкомитета.

РИСУНКИ НА КОНКУРС ПРИНИМАЮТСЯ
ДО 20 июля 2010 года
ПО АДРЕСУ:

127427, г. Москва, ул. Академика Королева, д. 21.
Московское конструкторское бюро киноаппаратуры «На конкурс
«Кинематограф в детском рисунке».
Телефоны для справок: (495) 619-86-11
e-mail: mkbk@mkbk.ru



ЦИФРОВЫЕ ПРОГРАММЫ на большом и малом экране



Л.Г. Лишин, д.т.н. ОАО ВНИИТР

Аннотация

Переход России на цифровое вещание приведёт к острой необходимости оцифровки архивных фондов для кинотеатров и телевизионных компаний. При оцифровке кино- и телеконтента необходимо учитывать появление нового кинопроекторного оборудования, которое позволяет проецировать на экраны кинотеатров кинофильмы с различными техническими характеристиками вплоть до стереоскопических и объёмных. Принятый для России цифровой телевизионный стандарт DVB-T позволяет передавать цифровой контент с помощью интернета. Это даёт возможность, используя асимметричный доступ и беспроводные технологии, значительно расширить зоны цифрового вещания в различных регионах страны без прокладки многочисленных оптоволоконных кабельных линий и избежать построения дорогостоящих одночастотных синхронных сетей.

Ключевые слова: оцифровка, цифровой контент, кинопроекторные комплексы, цифровое вещание, телевизионный стандарт, интернет.

■ К 2015 году наша страна полностью перейдёт на цифровое вещание, и это приведёт к необходимости оцифровки аналоговых архивных фондов. Телекомпании, кинотеатры с электронной проекцией, владельцы компьютеров, айпетов и айфонов – все заинтересованы в получении цифровых программ, что ставит сложные задачи перед оцифровщиками различных аналоговых фондов. Большинство телекомпаний выполняют оцифровку путём перезаписи аналоговых фондов на цифровых видеомagneфонах, что для кинофондов неприемлемо. Стоит отметить, что до последнего времени многие специалисты отрицали необходимость оцифровки ки-

DIGITAL PROGRAMS FOR BIG AND SMALL SCREEN

Lishin L.

Abstract

Russia's transition to digital broadcasting will lead to an acute need for digitization of archival holdings for cinema and television companies. When digitizing film and television content should take into account the emergence of a new film projection equipment, which allows project onto cinema screens films with different technical specifications until the stereoscopic and volumetric. Adopted for the Russian digital TV DVB-T standard allows to transfer digital content via the Internet. This makes it possible, using the asymmetrical access and wireless technologies, to expand areas of digital broadcasting in various regions of the country without laying multiple fiber optic cables and to avoid building expensive single-frequency synchronous networks.

Keywords: digitization, digital content, film projection system, digital broadcasting, television standard, Internet.

нофондов, справедливо считая киноленту носителем, значительно превосходящим магнитные ленты по решающей способности, срокам хранения и другим показателям. Оцифровка кинофондов осложняется разнообразием киноформатов и необходимостью применения предельно высоких параметров записи цифровых потоков. Особенности оцифровки кинофондов подробно рассмотрены в статьях [1] и [2]. Развитие новых цифровых технологий для демонстрации кинофильмов и появление в стране кинопроекторных комплексов [4] привело к необходимости оцифровки кинофондов, хранящихся в архивах.

При оцифровке аналоговых фондов всегда вставали, как минимум, три вопроса:

1. на какой носитель записывать цифровой поток;
2. в каких форматах проводить оцифровку;
3. сколько это будет стоить?

Конечно, можно сравнивать технологии оцифровки по стоимости записи бита информации, по времени доступа к точкам монтажа, по скорости записи цифровых потоков и другим техническим характеристикам оборудования.

По назначению архивы делятся на оперативные и архивы длительного хранения, что также влияет на выбор носителей и технологий записи. Для оценки перспективности носителей автором был предложен обобщённый критерий «многомерная плотность цифровой записи на носителе» [3] и разработаны методики его расчёта при условии соблюдения определённых правил (учёта форм-фактора дисков, наличия второй катушки в кассетах или наличия дополнительной экранировки). Расчёт данного параметра для наиболее распространённых цифровых видеомгнитофонов, оптических и голографических дисков и других перспективных носителей и технологий показал, что за последние 10 лет многомерная плотность записи информации у жёстких дисков и ленточных накопителей LTO с парамагнитным покрытием выросла на порядок. Но наиболее быстрый рост этих показателей наблюдался у голографических дисков и твёрдотельных накопителей [6].

Изменение технологий демонстрации кинофильмов, связанное с появлением кинопроекторных комплексов [4], должно резко увеличить потребность в оцифрованных кинофондах. Потребуется срочно оцифровывать киноленты, учитывая технические характеристики комплексов для кинотеатрального показа. Эти комплексы выпускаются рядом фирм (Doremi Cinema, GDC Technology, Sony, XDC и др.) и имеют набор характеристик, на которые необходимо ориентироваться при оцифровке. К ним можно отнести:

- ёмкость накопителя кинопроекторного комплекта на жёстких дисках обычно составляет от 1ТБ до 2 ТБ;
- компрессия изображения системами Jpeg 2000 и MPEG-2;
- в сервер комплекса могут вводиться до 10 сжатых кинофильмов;
- при проекции фильмов на экран частота кадров может быть различной в пределах от 23,97; 24; 25; 29,97; 30; 48; 50 кадров в секунду;
- при проекции фильмов могут применяться следующие видеформаты: 1280x720; 1920x1080; 2к 1280x1080 и формат HDTV;
- в сервер кинопроектора может одновременно вводиться до 16 цифровых каналов звукового сопровождения;
- оцифрованный контент для кинотеатрального показа может поступать по оптоволоконной сети, приниматься непосредственно от спутников, переписываться с дисков или других источников цифрового сигнала;
- в некоторых кинопроекторных комплексах предусмотрена возможность работы с сигналами 3D;

- для управления кинопроекторными комплексами используются специализированные интерфейсы управления и вводятся коды для защиты от несанкционированного доступа.

Иными словами, продаваемые театральные кинопроекторы представляют собой сложные цифровые комплексы, требующие не только помещений, энергоснабжения, но и квалифицированного обслуживания.

При выборе носителей для оцифровки кинофондов необходимо учитывать экономические факторы. В [6] приведены характеристики применяемых в настоящее время носителей для записи цифровой информации и предполагаемые затраты для оцифровки 1000 часов контента (по состоянию рынка на 2009 год). В дальнейшем стоимость твёрдотельной памяти будет снижаться, но в настоящее время её использование для архивирования разорительно. Преимущества по стоимости и объёмной плотности имеют голографические диски и запись на ленты с парамагнитным покрытием [4]. Ряд преимуществ имеют библиотеки, в которых в картриджах размещаются жёсткие диски. Использовать жёсткие диски для хранения цифрового киноматериала – дорогостоящее удовольствие. Если кинокартина длительностью 120 мин хранится на диске в разрешении 2K (2048x1556) с квантованием 12 бит цветовых компонент, то весь фильм займёт 2,36 ТБ. При наличии многоканального звукового сопровождения и с учётом хронометража картины общий объём записи увеличится до 3 ТБ.

Второй важный вопрос – это выбор цифровых стандартов. При создании технологии оцифровки необходимо обратить внимание на различие требований к техническим параметрам изображения, установленных телевизионными стандартами, и выдвигаемые кинематографистами (например, разрешение 1920x1080 Cif 24p) Телевизионная аппаратура, предназначенная для обработки цифровых сигналов, создавалась для стандартного ТВ сигнала (625x25i) или сигналов ТВЧ. Однако сигнал для демонстрации кинофильма на электронном проекторе должен иметь прогрессивную развёртку. Для создания комплексов высококачественной оцифровки кинолент с целью архивирования придётся создавать специальное телевизионное оборудование высокой разрешающей способности в соответствии с основными параметрами международных стандартов, принятых решениями EBU от 02.2006 г. для телевизионного вещания, и решениями DCI от 06.2006 г. для кинематографии (форматов сверхвысокого разрешения) [6].

Казалось бы, какое отношение оцифровка кинофондов и создание кинопроекторных комплексов может иметь к передаче информационных потоков по интернету? Но оказалось, их связывает процесс перехода мирового сообщества на цифровые технологии. В последние годы развитие традиционного телевидения в мире затормозилось. Зритель, особенно молодой, интересуется альтернативными источниками информации и интернетом. Этому способствует широкое распространение беспроводного доступа к интернету, и не пройдёт десятка лет, как интернет-

телевидение приведёт к сворачиванию телевизионного вещания. Этому будет способствовать принятый в России стандарт DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial). В ближайшие годы этот стандарт станет базовым в организации беспроводных наземных систем массовых коммуникаций. Это обусловлено его конвергентностью с интернетом. Помимо базового стандарта для перехода нашей страны на цифровое вещание, стандарт DVB-T превращается в беспроводной способ доставки через интернет мультимедийного контента непосредственно от передатчиков на приёмные устройства. Чтобы воспроизводящее устройство могло принять видеосигнал телевизионного качества с помощью DVB-T через интернет, его достаточно оснастить недорогим модемом, соединяемым с компьютером или другим устройством через порт USB. **Передаваемые через DVB-T видеоматериалы не связаны со структурой сигнала, и в одном транспортном потоке могут одновременно присутствовать форматы телевидения как стандартной, так и высокой чёткости.** На одной частоте, в одном транспортном потоке могут передаваться программы различного качества, соответствующие скоростям передачи программ. Преимуществами стандарта DVB-T применительно к протоколу IP являются его высокая помехоустойчивость, мультимедийность и интерактивность.

Достижение указанных выше преимуществ в цифровом телевещании вне подключения к интернету через протокол IP представляется и затруднительным, и дорогостоящим. Видеосигнал, передаваемый в стандарте DVB-T по эфирным сетям, не обладает необходимой помехоустойчивостью в части переотражения сигнала и по ряду параметров уступает аналоговому сигналу. Поэтому для того, чтобы создать надёжные системы эфирного цифрового вещания в стандарте DVB-T, необходимо приступить к созданию гигантской дорогостоящей сети синхронизированных передатчиков на всей территории России. При этом доставка телесигнала в стандарте DVB-T должна будет осуществляться по кабелю, включая «последнюю милю». В то же время передатчик DVB-T по IP доставит видеосигнал на значительные расстояния (70 км) на приёмное устройство конечного пользователя напрямую и с гораздо более высокой помехоустойчивостью. Это обеспечивается сочетанием специфики протокола IP с такими особенностями стандарта DVB-T, как специальные методы модуляции и защитные интервалы в сочетании с быстрым преобразованием Фурье.

Однако для распространения телевизионной информации через интернет он должен иметь асимметричный до-

ступ. Поэтому для обычного использования интернета нужно будет иметь второй вход, получаемый от второго провайдера. Конечно, данное неудобство может решаться через выстраивание долгосрочных партнёрских отношений между DVB-T-провайдерами и операторами сотовой связи, а также операторами сетей Wi-Fi и WiMAX. Это усложняет биллинг всей услуги в целом, но особенности совместного применения DVB-T и IP дают право рассматривать данный способ вещания не только с точки зрения технологических преимуществ, но и в аспекте его социальной значимости, позволяющей в среднесрочной перспективе решить проблему «цифрового неравенства», имеющего место в настоящее время в России. Именно экономичный беспроводной способ доставки контента посредством асимметричного интернета на компьютеры и телевизоры пользователей в России, где ещё долгое время будет использоваться устаревший парк компьютеров.

Поэтому предложение Евгения Харыбина [5], которое заключается в том, чтобы доставляемый видеосигнал разделить на три базовые режимные категории: «микро» (QVGA – 320x240), «мини» (EGA – 640x480) и «макро» (XGA – 1024x768 или более), очень полезно. Вещание в одном потоке сразу в трёх режимах позволяет расширить потенциальную аудиторию IP-вещания. В Москве уже сейчас установлены приёмные пункты Wi-Max, которыми охвачен почти весь город (рис. 1). Во многих крупных торговых и офисных учреждениях для связи с персоналом чаще всего используется беспроводная связь. Дальнейшее развитие в Москве беспроводных сетей, например Wi-Max, обойдётся значительно дешевле, чем перекладка кабельных линий, что ускорит обеспечение населения как интернетом, так и информационными услугами. Существует несколько спецификаций WiMAX: Fixed WiMAX – фиксированный и Mobile WiMAX – мобильный. В мобильной спецификации возможна работа в движении со скоростью до 120 км/ч. Технические характеристики WiMAX приведены в табл. 1.

Для WiMAX-сетей отведены частотные диапазоны 3,5 и 5 ГГц.

Фиксированный вид доступа предназначен для связи двух достаточно удалённых объектов, например, двух вышек с передатчиками WiMAX, находящихся на расстоянии до 50 км друг от друга. При нахождении в зоне прямой видимости и при благоприятных условиях скорость передачи данных доходит до 120 Мбит/с. Такие параметры позволяют использовать этот режим в качестве замены традиционных проводных каналов.

Табл. 1. Характеристики спецификаций WiMAX

	Дальность действия (расстояние от базовой станции), км	Максимальная скорость передачи данных, Мбит/с	Рабочая частота, ГГц	Необходимые устройства
Фиксированный	50	120	10–66	пользовательская станция с модемом и мощной антенной
Мобильный	3	30	2–11	встроенный или внешний адаптер

Публикуемые карты зон покрытия Москвы отражают лишь общую ситуацию и только частично учитывают специфику конкретной местности. На сегодняшний день в России продаётся достаточно много устройств, поддерживающих технологию WiMAX. Опросы показывают, что молодое поколение столицы предпочитает телевизорам экраны персональных компьютеров и нетбуков.



Рис. 1. Карты покрытия г. Москвы двумя видами сетей беспроводного вещания

Многие жители просматривают и прослушивают звуковой и визуальный контент с дисков, флешек и в интернете. Беспроводные сети появились не только в Москве и Санкт-Петербурге, а также вышли в регионы (к примеру, в Сочи, Краснодаре, Уфе и других крупных городах). Однако в настоящий момент компании мобильного WiMAX по своим доходам занимают не больше 3–5% рынка мобильного интернет-доступа, который по итогам 2009 года оценивается в 29,3 млрд. руб. Для сравнения, весь рынок фиксированного проводного ШПД в домашнем сегменте составил в 2009 году 47,5 млрд. руб. На рынке мобильной беспроводной связи одна из компаний ещё в декабре 2009 года запустила WiMAX-сети в эксплуатацию – это Fresh Tel. FreshTel – международная сеть 4G. Сети компании фрагментарно представлены на Украине (в Киеве), а также в российских городах – Чехове, Серпухове, Новомосковске, Туле. Они скоро появятся в Воронеже, Липецке и Ростове. По планам компании, к концу 2010 года этот оператор мобильного WiMAX появится ещё в 20 регионах России. Оборудование для FreshTel – две модели маршрутизаторов и столько же USB-модемов, которые могут подключаться, практически, к любому современному компьютеру, не исключая нетбуки и неттопы. Конечно, мобильный WiMAX в России пока развивается очень ограниченно – конкурировать с операторами кабельных линий пока невозможно. Поэтому операторы мобильного WiMAX строят нишевые сети размером 50 км и обеспечивают своим абонентам высокую скорость передачи данных с свободной, относительно 3G, сетью передачи данных. Это сопровождается появлением новых, ещё более скоростных цифровых технологий. Например, появился проект 3GPP Long Term Evolution (LTE), направленный на обеспечение потребностей в скоростной передаче цифровых потоков. Теоретическая скорость передачи данных до 326 Мбит/сек при записи и 172 Мбит/сек при воспроизведении. Радиус базовой станции

в зависимости от высоты антенны составляет от 5 км до 100 км. Появилось новое четвёртое поколение мобильной связи. К этому поколению относятся системы, работающие на скорости выше 100 Мбит/сек. В них применяется пакетная передача цифровой информации, что позволяет передавать программы ТВЧ и стереоскопические сигналы 3D. В компании «Синтерра» применяется «связка» WiMAX+VSAT (спутниковый канал обеспечивает компания «Глобал-Телепорт»). Такой подход позволяет обеспечить телефонией, интернетом и доступом в сеть те населённые пункты, где полностью отсутствует инфраструктура. Важнейшее значение имеет IPTV вещание для удалённых районов России, где отсутствует аналоговое ТВ вещание, или приём затруднён. Появление в этих районах IPTV вещания привлечёт население к новым цифровым технологиям. Пользователи, кроме приёма на переносной компьютер телевизионного изображения, получают возможность при наличии асимметричного доступа к сети интернет (посредством GPRS, WAP, WiMax) приостановить просмотр, посмотреть пропущенное, самостоятельно просмотреть повтор увиденного в назначенное вещателем время. В дальнейшем пользователь IPTV сможет устанавливать разные режимы просмотра телетрансляций он-лайн; самостоятельно выбирать точки и ракурсы просмотра прямых эфиров спортивных состязаний, концертов, шоу, использовать те или иные спецэффекты, самостоятельно делать повторы. Снабжённые текстовыми аннотациями, графической и иной сопутствующей информацией с возможностью интерактивного взаимодействия, аудио- видеопроизведения могут превратиться в современный мультимедийный продукт, формируя предпосылки для появления новых жанров в современной культуре. Всё это в целом должно содействовать формированию у молодого поколения альтернативных представлений об аспектах применения новых цифровых технологий. Таким образом, можно говорить о том, что IPTV вещание – это качественный прорыв в сфере информационных технологий. Создание образовательных интернет-телесетей способно сыграть важную роль в области повышения квалификации специалистов в самых разных отраслях народного хозяйства. ■

ЛИТЕРАТУРА:

1. Васин М.С. Использование средств цифрового электронного кинематографа в Госфильмофонде России. МТК № 8, 2008, с. 7–10.
2. Лишин Л.Г. Сравнение различных видов носителей, используемых для записи цифровой аудиовизуальной информации и архивирования. МТК №10, 2008, с. 16–19.
3. Лишин Л.Г., Лишин И.Л. Десять заповедей архивариуса, или ещё раз о критериях выбора. 625 № 2 (126), 2007, с. 95–97.
4. Рубин А. Справочник по кинооборудованию (серверы и плееры для кинотеатрального показа). ТТК № 01(27), 2010, с. 50–58.
5. Давидашвили Г. Джомолунгма IPTV Стандарт DVB-T и протокол IPTV как основа интернет вещания в России. 625, № 2, 2010, с. 76–79.
6. Лишин Л.Г. Оцифровка архивных кинодокументов. МТК № 15, 2010, с. 30–33.



МЕТОДЫ АНАЛИЗА СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КИНОИЗОБРАЖЕНИЙ

В.А. Сычёв, к.т.н.
С.А. Лобастов, аспирант,
ОАО «НИКФИ»



Аннотация

В статье выведены уравнения, позволяющие рассчитывать разрешающую способность системы по краевой функции рассеяния в изображении. Предложены также уравнения для достоверного определения разрешающей способности цифровых систем. Приведены результаты экспериментальной проверки.

Ключевые слова: изображение, функция рассеяния, пространственная частота, функция передачи модуляции, разрешающая способность.

METHODS OF ANALYSIS OF STRUCTURAL FEATURES OF CINEMA IMAGE

V. Sychov, S. Lobastov

Abstract

The equations are derived for calculation of reproduction system resolution through edge dispersion function in a final image. The equations for authentic definition of digital systems resolution are also offered. Results of experimental confirmation are available.

Keywords: Image, dispersion function, spatial frequency, modulation transfer function, resolution.

■ Данная публикация продолжает серию статей [1, 2] по разработке методов анализа и оценки структурных параметров изображений и систем воспроизведения. Такая необходимость возникла в связи с тем, что критерии, принятые для оценки фотографических изображений и процессов, оказываются, с одной стороны, недостаточными, а с другой – непригодными для оценки цифровых изображений.

Способность оптической системы воспроизводить мелкие детали изображения можно описать при помощи различных функций или предельных параметров. Выбор того или иного описания зависит от возможности реализации соответствующих измерений и удобства применения математического аппарата. Рассмотрим наиболее распространённые варианты.

Функции рассеяния

Основной характеристикой, описывающей возможность оптической системы воспроизводить мелкие детали изображения, является **функция рассеяния точки (ФРТ)** $f_m(x-a, y-b)$, где a и b – координаты центра изображения точки. Имеет смысл нормировать ФРТ:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f_m(x, y) dx dy = 1 \quad (1)$$

Функция рассеяния линии (ФРЛ) получается из ФРТ интегрированием функций рассеяния точек, образующих эту линию (при условии некогерентности излучений точек). Так для линии, проходящей через $x = a$ и направленной вдоль оси y , получим:

$$f_n(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_m(x-a, y) dy \quad (2)$$

Из условия (1) следует, что ФРЛ также нормирована.

Функция рассеяния края (ФРК) описывает преобразование системой воспроизведения резкого граничного перехода между 0 и 1. Для границы, проходящей через $x = a$ и направленной вдоль оси y , получим ФРК как суперпозицию ФРЛ (также при условии их некогерентности):

$$F_k(x) = \int_a^{\infty} f_n(x-t) dt = \int_{-\infty}^{x-a} f_n(t) dt \quad (3)$$

Из последнего равенства следует:

$$f_n(x-a) = F'_k(x) \quad (4)$$

В реальной ситуации переход осуществляется не между 0 и 1, а между уровнями h_1 и h_2 . В этом случае краевая функция выглядит следующим образом:

$$F_k(x) = \int_{-\infty}^a h_1 f_n(x-t) dt + \int_a^{\infty} h_2 f_n(x-t) dt \quad (5)$$

или после преобразования с учётом нормированности ФРЛ:

$$F_k(x) = h_1 + (h_2 - h_1) \int_{-\infty}^{x-a} f_n(t) dt \quad (6)$$

$$F'_k(x) = (h_2 - h_1) f_n(x-a) \quad (7)$$

Отметим, что функция рассеяния края связана с субъективной характеристикой **резкости** изображения.

Разрешающая способность

Для получения количественных критериев оценки качества воспроизведения мелких деталей, примем нормальный закон распределения ФРТ:

$$f_m(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2\sigma_x^2}\right) \exp\left(-\frac{(y-b)^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (8)$$

Соответствующую ФРЛ получим интегрированием согласно (2):

$$f_n(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2\sigma_x^2}\right) \quad (9)$$

Для однородной и изотропной системы и линии, проходящей через начало отсчёта, получим:

$$f_n(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (10)$$

Рассмотрим границу перехода сигнала в плоскости изображения от h_1 к h_2 . Уравнение (7) будет выглядеть следующим образом:

$$F'_k(x) = (h_2 - h_1) \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (11)$$

Последнее выражение представляет тангенс угла наклона касательной к кривой функции изображения края в направлении, перпендикулярном границе. Максимальное значение тангенса равно:

$$F'_{\max}(x) = \frac{h_2 - h_1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \quad (12)$$

Точки, в которых тангенс угла наклона в α раз меньше максимального, найдём из условия:

$$F'_k(x) = \alpha F'_{\max} \quad (13)$$

Подставляя (11) и (12) в (13), получим:

$$x = \pm\sigma\sqrt{2\ln\frac{1}{\alpha}} \quad (14)$$

Полагая $\alpha = 1/e$, получаем выражение для σ через координаты точек (условно назовём их критериальными), в которых производная функции рассеяния края в e раз меньше максимального значения:

$$\sigma = \frac{x_2 - x_1}{2\sqrt{2}} \quad (15)$$

Рассмотрим теперь связь параметра σ с разрешением системы. Две линии, расположенные на расстоянии $\pm a$ от начала координат, создают изображение:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \left[\exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right) + \exp\left(-\frac{(x+a)^2}{2\sigma^2}\right) \right] \quad (16)$$

Пусть между линиями при $x = 0$ суммарное значение составляет β от максимального значения функции рассеяния одной линии:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} 2\exp\left(-\frac{a^2}{2\sigma^2}\right) = \beta \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \quad (17)$$

Отсюда получаем:

$$a = \pm\sqrt{2}\sigma\sqrt{\ln\frac{2}{\beta}} \quad (18)$$

Значение $\beta = 2/e \approx 0,74$ представляет критерий Релея разрешения двух линий [3]. Расстояние между линиями в этом случае равно:

$$\Delta x = 2a = \pm 2\sqrt{2}\sigma = 2,83\sigma \quad (19)$$

Это расстояние определяет **разрешающую способность** системы:

$$R = \frac{1}{\Delta x} = \frac{\sqrt{2}}{4\sigma} = \frac{0,35}{\sigma} \quad (20)$$

Сравнивая выражения (15) и (19), мы обнаруживаем, что расстояние между критериальными точками ФРК в точности равно расстоянию между линиями, определяющими разрешающую способность!

Если использовать другое значение критерия Релея $\beta = 0,8$ [4], то равенства (19) и (20) будут выглядеть следующим образом:

$$\Delta x = 2,71\sigma = e\sigma \quad (21)$$

$$R = \frac{1}{e\sigma} = \frac{0,37}{\sigma} \quad (22)$$

Разрешающая способность субъективно определяет **чёткость** проработки деталей в изображении, а объективно – **информационную ёмкость** системы воспроизведения.

Любопытные рассуждения по поводу соотношения резкости и разрешения приводит Hans Kiening [5]:

«Резкость лучше всего описывается прямым кратковременным восприятием контраста на участках изображения с низкой пространственной частотой и происходит из эволюционной необходимости принимать быстрые решения на основе формы объекта (еда, опасность, спаривание и т.п.). Таким образом, этот критерий является старейшим и внедрённым в наши базовые инстинкты.

Разрешение, с другой стороны, является параметром качества, который впервые начал играть роль с развитием изобразительных искусств. Допустимым синонимом может быть достоверность. Чем больше деталей имеет изображение, тем более оно походит на оригинал. Такая оценка требует времени и не происходит интуитивно.

Разрешение и резкость имеют одно общее. В обоих случаях контраст является решающим фактором в их восприятии».

В [6] ширина градиционного перехода ФРК необоснованно полагается обратно пропорциональной разрешающей способности. Помимо неопределённости самого понятия ширины перехода, не учитывается контраст анализируемого изображения, оказывающего определяющее влияние на эту ширину. Следствием ошибочности метода является ошибочность результатов – разрешение изображений в негативе оказывается таким же, как в позитиве.

Функция передачи модуляции

Функция передачи модуляции описывает преобразование гармонического сигнала

$$S(x) = A + B \cos(wx) \quad (23)$$

где $w = 2\pi/\lambda$ – пространственная частота изображения. Результат воспроизведения системой гармонического сигнала представляет свёртку $S(x)$ и ФРЛ:

$$P(x) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) f_n(x-t) dt \quad (24)$$

Подставляя (23) в (24) и учитывая, что ФРЛ нормирована, получаем:

$$P(x) = A + B \int_{-\infty}^{\infty} f_n(t) \cos(w(x-t)) dt \quad (25)$$

Максимальное и минимальное значения функция $P(x)$ принимает при $wx = 2\pi n$ и $wx = (2n+1)\pi$, соответственно (везде полагаем $A > B > 0$):

$$P_{\max} = A + B \int_{-\infty}^{\infty} f_n(t) \cos(wt) dt \quad (26)$$

$$P_{\min} = A - B \int_{-\infty}^{\infty} f_n(t) \cos(wt) dt \quad (27)$$

Модуляция определяется следующим выражением:

$$m = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max} + P_{\min}} = \frac{B}{A} \int_{-\infty}^{\infty} f_n(t) \cos(wt) dt \quad (28)$$

Принимая для ФРЛ нормальное распределение (10), получаем:

$$m = \frac{B}{A\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma^2}\right) \cos(wt) dt = \frac{B}{A} \exp\left(-\frac{w^2\sigma^2}{2}\right) \quad (29)$$

Если ввести критериальную пространственную частоту (w_c), на которой модуляция снижается в e раз, можно получить выражения для σ и, с учётом (20), для разрешающей способности R :

$$\sigma = \frac{\sqrt{2}}{w_c} \quad (30)$$

$$R = \frac{w_c}{4} = \frac{\pi N_c}{2} \quad (31)$$

где N_c – количество периодов пространственной решётки на единицу длины, при котором модуляция снижается в e раз.

Как показано в [2], определение разрешающей способности цифровых систем обычными методами по пороговым значениям тестовых миш имеет принципиальные трудности. Использование достаточно высоких значений ФПМ ($1/e$), далёких от пороговых значений, с последующим расчётом разрешения по соответствующей критериальной пространственной частоте позволяет обойти эти трудности. Кроме того, центральная часть ФПМ имеет существенно больший наклон, чем её высокочастотная часть, определяющая порог разрешения. Поэтому получаемые таким образом результаты имеют пропорционально большую точность и достоверность.

Ещё раз подчеркнём, что приведённые расчёты применимы для однородных (или квазиоднородных, когда можно пренебречь пространственной дискретизацией) систем отображения. В случае дискретных систем, когда критериальная частота сравнима с частотой дискретизации изображения, необходимо использовать другой математический аппарат.

Экспериментальная проверка

Была проведена серия экспериментов по проверке предложенных выше уравнений. С помощью фотосканера получены изображения тестов, содержащих резкие границы и штриховые миры разной частоты (рис. 1). Тесты изготовлены на 70 мм мелкозернистой киноплёнке ЗТ-8 с разрешением более 100 линий/мм. Это вдвое

превосходит разрешение исследуемой системы, поэтому изображение на плёнке можно принять абсолютно резким.

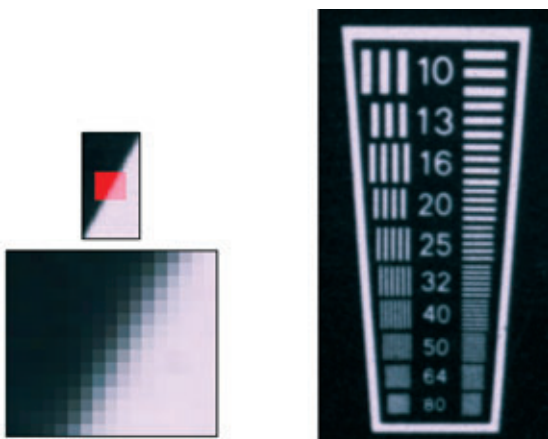


Рис. 1. Результаты сканирования резкого края и штриховой миры

Ввиду отсутствия синусоидальных решёток для построения ФПМ использованы прямоугольные штриховые миры. Однако существенного влияния на результат это оказать не может, т.к. в эксперименте исследовались достаточно высокие пространственные частоты, для которых воспроизводится преимущественно основная гармоника. На рис. 2–4 приведены усреднённые результаты измерения ФПМ, ФРК и производная ФРК для яркостного сигнала. Функции для цветоделённых сигналов выглядят аналогично.

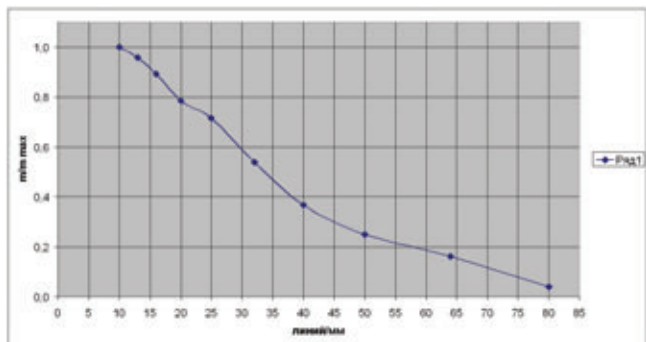


Рис. 2. Функция передачи модуляции при сканировании под углами, не вызывающими образования муара

ЛИТЕРАТУРА

1. Сычёв В.А. Математическая модель преобразования сигнала при дискретизации изображения. МТК, № 6, 2007, с. 20–22.
2. Сычёв В.А. Особенности контроля разрешающей способности при цифровой проекции. МТК, № 14, 2009, с. 50–52.
3. Василевский Ю.А. Практическая энциклопедия по технике Аудио и видеозаписи. М., 1996, с. 135.
4. Ландсберг Г.С. Оптика. М., 2006, с. 196.
5. Hans Kiening. 4K and Beyond – Comparing Digital Camera Performance. SMPTE Motion Imaging Journal, October 2009, p. 48.
6. Блохин А.С. Измерение характеристик реальных изображений на 35-мм цветных киноплёнках. МТК, № 14, 2009, с. 25–30.

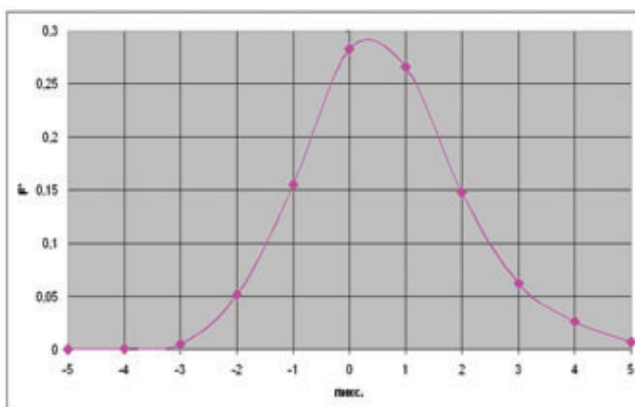
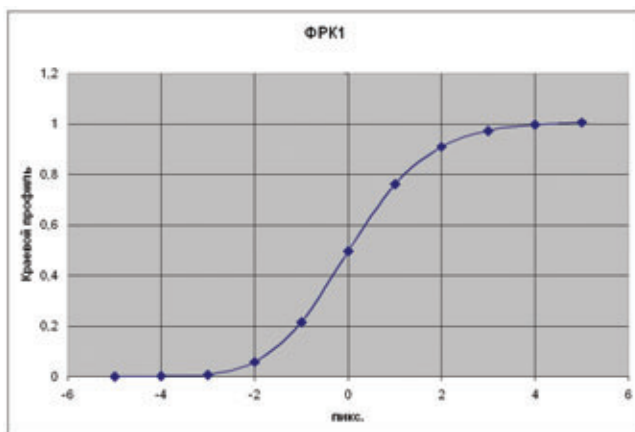


Рис. 3, 4. Функция рассеяния края и её производная

Усреднённые значения разрешающей способности, вычисленные по ФРК, по критериальной частоте ФПМ и определяемые визуально, получились равными 54, 54 и 55 соответственно. Результаты хорошо согласуются между собой и соответствуют примерно 3 пикселям на период.

Проведён анализ различных способов описания частотно-контрастных характеристик воспроизводящих систем и изображений. Предложены аналитические зависимости между параметрами, выведены уравнения, позволяющие рассчитывать разрешающую способность системы по краевой функции рассеяния в изображении (14–15, 19–22). Предложены также уравнения для достоверного определения разрешающей способности цифровых систем (29–31). Проведена экспериментальная проверка полученных результатов. ■



ЦВЕТНОЙ КИНЕМАТОГРАФ



(продолжение, начало в МТК № 15)

Н.А. Майоров,
режиссёр, сценарист,
член Международной Федерации журналистов

Аннотация

Данная работа посвящена истории реализованных систем цветного кинематографа, первой из которых в 2009 г. исполнилось сто лет. Излагаются принципы получения цветного киноизображения. В хронологическом порядке описываются разработанные на основе этих принципов и внедрённые в кинопроизводство в XX веке системы цветного кинематографа с указанием (в большинстве случаев) их разработчиков и первых цветных фильмов, снятых по каждой из них.

Ключевые слова: цветной кинематограф, аддитивный, субтрактивный, двухцветный и трёхцветный процесс, цветная фильмокопия, Бипак, Техниколор, Агфаколор.

■ RAYCOL (Райкол)

Английский двухцветный аддитивный способ разработан Морисом Элвеем (Maurice Elvey) на «Raycol British Corporation and Associated Talking Pictures Ltd, Ealing, London» (Британская Райкол Корпорация и Ассоциация Толкин Пикчерз Лтд, Илинг, Лондон) в 1928–1930 годах.

Оптическая система кинокамеры состояла из призмы, помещённой перед двумя объективами и делящей луч от основного объектива. Таким образом, съёмка двух цветоделённых изображений не имела временного и пространственного параллакса. Верхний кадр снимался через красно-оранжевый фильтр, а нижний – через сине-зелёный.

Объектив кинопроектора состоял из двух усечённых линз со специальным приспособлением для увеличения и уменьшения расстояния между их осями для получения точного совмещения изображений на экране.

Первый цветной короткометражный игровой фильм по системе «Райкол» «THE SKIPPER OF THE OSPREY» (Шкипер Скопы) выпущен на экран в 1933 году.

SINEOPTICHROME (Синеоптихром)

Разработали в 1930 году французские изобретатели Люсиан Ру (Lucien Roux) и Арман Ру (Armand Roux).

COLOR CINEMA

N. Majorov

Abstract

The given work is devoted history of the realised systems of a colour cinema, first of which in 2009 was executed hundred years. Principles of reception of the color film image are stated. In a chronological order are described developed on the basis of these principles and introduced in film production in the XX-th century of system of a color cinema with instructions (in most cases) their developers and the first color films which have been removed on each of them.

Keywords: a Color Cinema, Additive Color Process, Subtractive Color Process, Two-colored and Three-colored process, Color Print, BiPack, Technicolor, Agfacolor.

Съёмка производилась специальным киноаппаратом, состоящим из основного объектива, который даёт действительное изображение, и от которого несколько вторичных объективов дают несколько изображений, расположенных в одной плоскости. Цветоделённые изображения располагаются на площади стандартного кадра. Кинопроектор для цветной проекции имеет такую же оптическую систему, работающую в обратном направлении.

22 марта 1934 года в Оптическом институте в Париже состоялась первая демонстрация процесса.

VITACOLOR (Витаколор)

Процесс, подобный системе «Kinemascolor», разработан американскими изобретателями Вильямом ван Дорин Келли (William van Doren Kelley) и Максом Б. Ду Понтом (Max B. Du Pont) в 1930 году.

СПЕКТРОКОЛОР

Советский изобретатель Н.Д. Анощенко 7 мая 1930 г. получил патент на двухцветный аддитивный способ «Спектроколор», который был аналогом «Кинемаколор», отличавшийся от него лишь тем, что вставляемые в объектив светофильтры составлялись из ряда секторов с постепенно изменявшейся окраской для уменьшения мигания.

По системе «Спектроколор» в 1931 году был снят первый советский цветной документальный фильм «ПРАЗДНИК ТРУДА», премьера которого состоялась на открытии нового кинотеатра «Востоккино» в Москве 1 августа 1931 г.

Известно, что Н.Д. Анощенко производил по системе «Спектроколор» цветные съёмки прилёта в СССР из Германии дирижабля «Граф Цеппелин» в 1931 году. Но, к сожалению, ни сами цветоделённые киноматериалы, ни информацию об их демонстрации пока обнаружить не удалось. Все киноматериалы в РГАКФД, посвящённые прилёту знаменитого дирижабля в СССР, являются обычной чёрно-белой киносъёмкой.

HARMONICOLOR (Гармониколор)

Разработал Морис Комбс (Maigrice Combs) в 1930 году. **MORGANA (Моргана)**

Двухцветный аддитивный процесс для 16-миллиметровой плёнки эксплуатировался компанией «Bell and Howell Co.» (Белл и Хауэлл) с 1932 года.

Для съёмки использовалась 16-мм панхроматическая обрабатываемая плёнка. В кинокамере был установлен специальный обтюратор со светофильтром, который перемещается специальным пульсирующим механизмом, и при каждой экспозиции помещает нужный светофильтр между объективом и плёнкой. Съёмка производилась попеременно через красный и зелёный светофильтры.

Специальный 16-мм кинопроектор обеспечивал обычное передвижение плёнки: сначала на два кадра вперёд, затем на один назад, в следующем порядке:

1–2, 1–2–3, 2–3–4, 3–4–5, и т.д.

В результате, хотя скорость поступательного движения плёнки 24 кадра в сек., но за этот же период времени происходят 72 смены изображений. Таким образом, каждое изображение проецируется на экран три раза. Благодаря такому увеличению скорости движения плёнки во время проекции уничтожается цветное мигание и значительно снижается цветная кайма вокруг контуров изображения.

COSMOCOLOR I (Космоколор I)

Разработан Отто С. Гилмором (Otto C. Gilmore) в 1935 г. и является аналогом двухцветного аддитивного способа «Busch Color» (Буш Колор).

CINEFOTOCOLOR (Синефотоколор)

Разработан в 1947 году.

JILMORCOLOR (Джилморколор)

Американский двухцветный аддитивный процесс объединил в себе черты двухцветного аддитивного способа «Busch Color» и английского «Cinecolor».

MAGNACHROME (Магнахром)

В процессе «Магнахром» съёмка производилась через красный и зелёный светофильтры. Два цветоде-

лённых кадра, размером 24х9 мм каждый, размещались друг над другом в пределах площади стандартного кадра.

ТРЁХЦВЕТНЫЕ АДДИТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Как уже было сказано выше, первый патент на цветную киносъёмку был зарегистрирован в Берлине в декабре 1897 года немецким изобретателем Г. Изензее (H. Isensee).

Суть этого метода состоит в следующем: проецируемое изображение появится перед зрителем в натуральных цветах благодаря тому, что красное, зелёное и синее изображения будут быстро, друг за другом, проецироваться на экран. Для этой цели при съёмке перед объективом помещают вращающийся диск с красным, зелёным и синим секторами.

С негативов печатаются позитивы, которые проецируются в той же последовательности через соответственные светофильтры. Всё очень просто!

В основе этого и многих других предложений лежал трёхцветный аддитивный способ, основанный на сложении трёх основных цветов во время проекции и имевший один и тот же недостаток: съёмка цветоделённого изображения производилась последовательно, что приводило к образованию временного параллакса и, как следствие, – цветной каймы вокруг движущегося изображения. Уменьшить его можно было только за счёт увеличения скорости съёмки и проекции до 48 или даже 72 кадров в секунду, но эта скорость была недостижима на проекторах того времени...

LEE-TURNER COLOR (Ли Тернер Колор)

Разработали Фредерик Маршал Ли (Frederick Marshall Lee) и Раймонд Тернер (Raymond Turner) в 1898 году.

KROMOSCOPE (Хромоскоп)

Разработал Фредерик Э. Айвес (Frederick E. Ives) в 1900 г.

В основе процесса – принцип, предложенный в 1897 году Г. Изензее (H. Isensee): последовательная съёмка и проекция трёх цветоделённых кадров через красный, зелёный и синий светофильтры.

BASSANI (Бассаньи)

Разработан парижской фирмой «Chromofilm» (Хромофильм) не ранее 1910 года.

Съёмка велась на панхроматической 35-мм плёнке. При помощи специального механизма, который передвигал при каждой экспозиции всё кадровое окно с плёнкой относительно обычно закреплённого объектива. Таким образом, на площади одного нормального кадра последовательными движениями кадрового окна экспонировались три миниатюрных негатива со скоростью 72 кадра в секунду.



Кинокамера «Gaumont Chronochrome»

Проекция позитива производилась с помощью трёх усечённых линз.

GAUMONT CHRONOCHROME

(Гомон Хронохром)

Разработан под руководством Леона Гамона (Leon Gaumont) в 1913 году.

Для съёмки использовалась специальная кинокамера с двумя объективами, расположенными вертикально друг над другом с зелёно-голубым фильтром и красным фильтром, соответственно. В 1919 году камера была усовершенствована. Три объектива, расположенные вертикально друг над другом, обеспечивали съёмку с красным, зелёным и синим фильтром. В результате на 35-мм панхроматической киноплёнке получались три цветоделённых кадра, имеющих стандартную ширину немого кадра и три четверти его стандартной высоты.

Проекция осуществлялась специальным кинопроектором, снабжённым также тремя объективами с соответствующими светофильтрами и одновременно проецирующим все три изображения на экран. Понятно, что система была избавлена от временного параллакса, а пространственный параллакс уменьшался регулировкой проекционных объективов.

Первый цветной фильм по системе «Gaumont Chronochrome» – «Victory Parade in Paris» (Парад Победы в Париже) был выпущен на экран в 1919 году.



Кадр из фильма «Парад Победы в Париже» (1919)

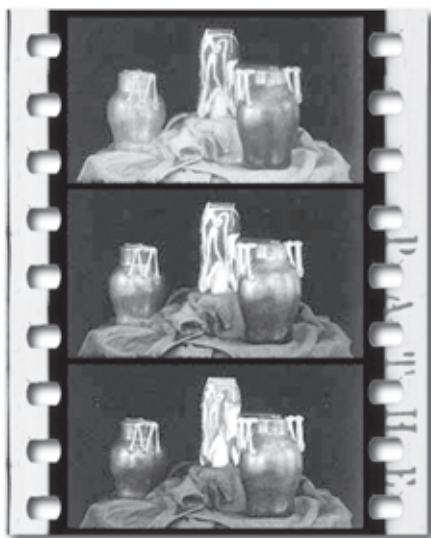
GAUMONT TRI-COLOR

См. Трёхцветный аддитивный процесс «**Gaumont Chronochrome**».

DUGROMACOLOR (Дюгромаколор)

Разработан и применён в 1913 году Дюма (Dumas), Гроссетом (Grosset) и Марксом (Marx) на основе трёх-

цветного фотографического процесса Дюко де Орона (Ducos de Hauron).



Цветоделённый позитив по системе «**Chronochrome**»

В этом процессе специальные призмы делили первичное изображение на три изображения, фильтрованные в красном, зелёном и синем цвете соответственно, и экспонировавшиеся на три чёрно-белые негативные плёнки. Проекция производилась синхронно тремя кинопроекторами через соответствующие светофильтры.

БИОХРОМ ПРОКУДИНА-ГОРСКОГО

Акционерное общество «Биохром» создано в начале 1914 года «для эксплуатации изобретений С.М. Прокудина-Горского, С.О. Максимовича в области цветных фото- и кинематографии».

С.О. Максимович и С.М. Прокудин-Горский разработали трёхцветный

аддитивный способ, в котором использовалась плёнка двойной ширины. На кинокамере были установлены два объектива, перед которыми помещалась расщепляющая призма, дававшая продольный параллакс. Эта оптическая система позволяла производить одновременную съёмку таким образом, что на одной половине плёнки экспонировался кадр только через один – красный светофильтр, а на другой половине кадры экспонировались поочередно через два других светофильтра – зелёный и синий.

По этой же схеме велась и проекция позитива на кинопроекторе с двумя объективами со специальным приспособлением для юстировки. Использование одновременного и последовательного наложения цветов ослабляло мигание.

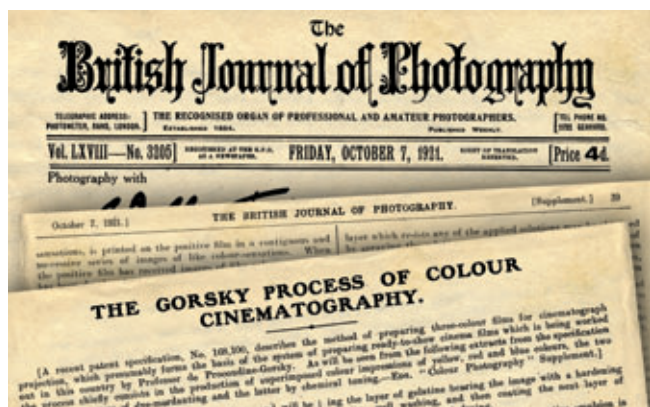
Главным недостатком способа было мигание при проекции некоторых цветов. Для его устранения С.О. Максимович рассчитал призму, полностью устранявшую параллакс.

Цветные фильмы, снятые по системе «Биохром», не сохранились.

Надо заметить, что утверждения и ссылки на публикации в периодике Вениамина Евгеньевича Вишневого в его знаменитом справочнике «Документальные фильмы дореволюционной России» на якобы имевшие место демонстрации цветных фильмов по системе С.М. Прокудина-Горского, начиная с 1911 года, не нашли документального подтверждения.

Но то, что великий русский мастер и изобретатель цветной светописы С.М. Прокудин-Горский работал над созданием не только цветной фотографии, но и кинематографа – не вызывает сомнения. Свидетельство тому – один из его Патентов по цветной кинематографии, опубликованный в «Британском фотогра-

фическом журнале» (The British Journal of Photography) 7 октября 1921 года.



Публикация патента цветного кинематографического процесса С.М. Прокудин-Горский в «Британском фотографическом журнале» 7 октября 1921 года

SZCZEPANIK COLOR (Щепаник колор)

Процесс разработан в 1925 году польским инженером Яном Щепаником (Jan Szczepanik). Съёмочный и кинопроекторный аппараты, разработанные им, имели очень сложное устройство и принцип действия. Не вдаваясь в подробности их устройства, скажем, что съёмка производилась на стандартной 35-мм киноплёнке через синий, красный и зелёный светофильтры на три стандартных кадра одновременно.

Разработкой и внедрением системы Щепаника в течение ряда лет занималась фирма «Буш», в результате было снято несколько короткометражных трёхцветных фильмов.

Известно, что на первом публичном просмотре демонстрировались три фильма: один игровой, второй видовой и третий учебный, изображающий хирургическую операцию. По оценкам зрителей качество цветопередачи было высоким, но вместе с тем наблюдалась неудовлетворительная резкость, «дыхание» цвета на экране, сильное замедление движения. Дальнейшая разработка системы была прекращена.

HERAULT TRICHROME (Эро Трихром)

Французский процесс, в котором кадры чёрно-белого позитива, полученного путём контактной печати с цветоделённого негатива, окрашивались попеременно красным, зелёным и синим красителями. Разработан в 1929 году.

HORST (Хорст)

В начале 30-х годов в Англии и Европе эксплуатировался трёхцветный

аддитивный процесс «Horst» (Хорст), разработанный в 1929 году немецким изобретателем Людвигом Хорстом (L. Horst). В этом процессе съёмка трёх цветоделённых изображений проводилась на стандартный кадр 35-мм плёнки одним объективом. Специальная призма с цветными фильтрами расщепляла изображение на три цветоделённых, каждое размером 9х12 мм.

Проекция производилась на стандартном кинопроекторе с заменой его объектива на специальную насадку, состоящую из трёх отдельных объективов с соответствующими светофильтрами.

По своей системе Л. Хорст снимал научные фильмы на медицинские темы: «Операция удаления миомы», «Кесарево сечение», «Послеродовой период» и другие. Поэтому не удивительно, что их первая демонстрация состоялась в немецком Гинекологическом обществе и имела успех. Главным недостатком этой системы была маленькая площадь кадра, что приводило к повышению зернистости изображения и плохой резкости.

FRANCHITA-REALITA (Франсита-Реалита)

Разработан Морисом Веллем (Maurice Velle) для компаний по производству фильмов в натуральных цветах «Francita» (Франсита) в 1935 году.

На площади одного стандартного кадра располагались три цветоделённых изображения размером 12х8 мм каждое, снятых следующим способом: два кадра снимаются через красный и зелёный светофильтры и располагаются по диагонали. Затем плёнка передвигается на половину высоты кадра, и на свободной площади, под верхним, уже экспонированным кадром, экспонируется третий кадр через синий светофильтр. Съёмка производится при скорости 48 кадров в секунду, что уменьшает временной параллакс. Изображение обладало достаточно высокой резкостью и детализацией, так как каждое цветоделённое изображение снималось на кадр, размером больше, чем кадр на 16-мм киноплёнке (9,5х6,9 мм). Позитивная копия демонстрируется на обычном кинопроекторе посредством трёх усечённых объективов с соответствующими светофильтрами.

OPTIC COLOR

Английское название трёхцветного аддитивного процесса «Franchita-Realita» (Франсита-Реалита).

THOMASCOLOR (Томасколор)

Разработал американец Ричард Томас (Richard Thomas) в конце 30-х годов. С 1939 по 1945 год процесс «Томасколор» использовался в США для съёмки военных учебных 16-мм кинофильмов.

ROUXCOLOR (Роуксколор)

Четырёхцветный аддитивный процесс разработали Люсьен Ру (Lucien Roux) и Арманд Ру (Armand Roux) в



Цветоделённый позитив по системе Яна Щепаника.

1947 году на основе своей системы «Cineoptichrome» (Синеоптихром). Съёмка производилась на 70-мм киноплёнке с расположением цветоделённых изображений, соответствующих стандартному размеру кадра, в два ряда: на верхний ряд снимался через зелёный и сине-фиолетовый фильтры, на нижний – через синий и красный.



Цветоделённый позитив по системе «Franchita-Realita»

По этой системе во Франции был снят цветной игровой фильм «LA BELLE MEUNI RE» (Прекрасная мельничиха), премьера которого состоялась 23 ноября 1948 года в Париже.

AUTOCHROME (Автохром)

Процесс предложил впервые Луи Дюко дю Орон (Louis Ducos du Hauron) в 1868 году. Идея была принята и доведена до промышленного применения братьями Люмьер, которые 17 декабря 1903 года получили патент на процесс «Автохром». Первая цветная фотография была получена в 1904 году. А в 1906 году Люмьеры сообщили о готовности процесса к коммерческому использованию и введение его в эксплуатацию с 1907 года. К июлю 1907 г. лионская фабрика Люмьеров выпускала 6000 фотопластинок в день, всего за период с 1907 по 1932 год было выпущено около 50 миллионов стеклянных пластинок для съёмки цветных фотографий способом «Автохром».

В 1907 году во французском журнале «L'Illustration» (Иллюстрасьён) впервые в мире была напечатана цветная фотография, изготовленная по процессу «Автохром» фотографом Леоном Гампелем (Léon de Gampel).

В конце 20-х годов XX века Луи Люмьер разработал и начал производить киноплёнку для съёмки цветных фильмов способом «Автохром». Сам процесс получения цветного изображения методом «Автохром» заключается в следующем (это относится как к фотографии, так и к кинематографу). Стеклянная пластинка покрывается очень тонким слоем прозрачного клея, на который засыпаются мельчайшие зёрна крахмального порошка (30 мая 1904 года на докладе в Академии наук Луи Люмьер сообщил, что после длительных и тщательных исследований, в качестве зёрен наилучшее качество даёт картофельный крахмал). Предварительно зёрна картофельного крахмала окрашиваются: одна часть в сине-фиолетовый цвет, другая – в зелёный, третья – в красный. Перед посыпанием клеевого слоя окрашенные зёрна тщательно перемешиваются и затем насыпаются на пластинку. В результате образуется тройко-окрашенный слой прозрачных частиц, размером не более сотой доли миллиметра каждая. Этот слой выполняет роль светофильтра. Затем поверх него наносится слой светочувствительной эмульсии. Процесс изготовления завершён, и можно приступать к съёмке. В отличие от обычной съёмки, съёмка на «автохромную» пластинку или плёнку производится не со стороны эмульсии, а со стороны подложки (стек-

ла). Таким образом, свет попадает на эмульсию, пройдя через окрашенные крахмальные зёрна как через светозональный светофильтр. Снятая пластина (плёнка) проявляется методом обращения, то есть в итоге получается позитивное изображение, которое при просмотре на просвет воспроизведёт цветной объект в его натуральных цветах.

Простота этого способа цветной фотографии сделала его популярным

как среди богатых фотографов-любителей, так и профессионалов.

На цветной киноплёнке «Автохром» было снято несколько фильмов, но в основном, она использовалась кинолюбителями. Главным недостатком, как фото, так и кинопроцесса по методу «Автохром», была невозможность получения цветных копий. Интересно, что сохранилось большое количество фотографий и киноплёнок, которые с годами сохранили первозданную чистоту цвета и точность цветопередачи. Сегодня компьютерные методы сохранения и обработки изображений позволяют увидеть эти чудеса цветной светописы и использовать их в полиграфии и кинематографии.

ТРЁХЦВЕТНЫЕ АДДИТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ С РАСТРОМ KELLER-DORIAN (Келлер-Дориан)

Процесс с линзовым растром «Keller-Dorian» разработали в 1908 году Альберт Келлер-Дориан (Albert Keller-Dorian) и Родольф Бертон (Rodolphe Berthon). Патент на этот способ был получен в 1914, но только 27 декабря 1923 года в Париже прошла демонстрация пробной цветной съёмки.

Компания «Кодак» в 1925 году приобрела патент на этот процесс, и в 1928 году начала выпуск 16-мм обратимой киноплёнки с линзовым растром под названием «Кодаколор».

DUPLEX-COLOR-PLATES (Дуплекс Колор Плайт)

Процесс «Duplex-Color-Plates» (Дуплекс Колор Плайт) с цветным растром на отдельной плёнке разработан в 1927 г.

KODACOLOR (Кодаколор)

Компания «Кодак» в 1925 году приобрела патент на трёхцветный аддитивный процесс с линзовым растром «Keller-Dorian» (Келлер-Дориан), разработанный в 1908 году Альбертом Келлер-Дорианом (Albert Keller-Dorian) и Родольфом Бертоном (Rodolphe Berthon), и в 1928 году начала выпуск 16-мм обратимой киноплёнки с линзовым растром под названием «Kodacolor» (Кодаколор).

DUFAYCOLOR (Дюфэйколор)

Процесс с цветным растром «Dufaycolor» разработал француз Луи Дюфэй (Louis Dufay) в 1931 году. Способ этот ведёт начало от растровых пластинок Луи Дюфэй, которые были в продаже с 1910 по 1917 год под названием пластинок Дюфэй «Диоптихром».

Съёмка производится обычной кинокамерой на киноплёнке с цветным растром.

В 30-е годы XX века по системе «Dufaycolor» было снято несколько фильмов. Среди них мультипликационный фильм «A COLOUR BOX» (Цветная коробка) (1935) и два полнометражных игровых фильма «RADIO PARADE OF 1935» (Радио парад 1935 года) (1935), «SONS OF THE SEA» (Сыновья моря) (1939).

MONDIACOLOR (Мондиакolor)

Процесс с цветным растром – аналог «Dufaycolor» с усовершенствованной технологией изготовления раstra, предложенной М. Шевалье (M. Chevalier).

FOX LENTICULAR FILM (Фокс Лентикуляр Филм)

Лентикуляр Филм)

Процесс с линзовым растром «Fox Lenticular Film» разработан кинокомпанией «XX Century-Fox» в 1953 году.

СУБТРАКТИВНЫЕ СПОСОБЫ

Практически все двухцветные и трёхцветные аддитивные процессы, помимо специальной аппаратуры для съёмок, требовали специальной кинопроекционной аппаратуры. Кинопроектистам же хотелось иметь дело с такой копией цветного фильма, которую можно зарядить в существующий кинопроектор и демонстрировать так же, как чёрно-белую. Перед разработчиками цветных систем кинематографа стояла задача, помимо решения вопроса о получении максимально правдивого натурального цвета, создать такой процесс цветного кинематографа, при котором готовый цветной фильм будет на обычной стандартной киноплёнке, пригодной для демонстрации на существовавших кинопроекторах со стандартной частотой проекции, что стало особенно актуально с приходом звука.

Субтрактивный способ получения цвета решает эту задачу, так как завершающей стадией этого процесса является позитивная копия, несущая цветное изображение.

Все субтрактивные процессы можно разделить на две группы по способу получения цветоделённого изображения: первая группа использует оптические системы для дробления светового пучка на два или три цветоделённых изображения, в зависимости от количества образующих цветов; вторая – способ съёмки «Бипак».

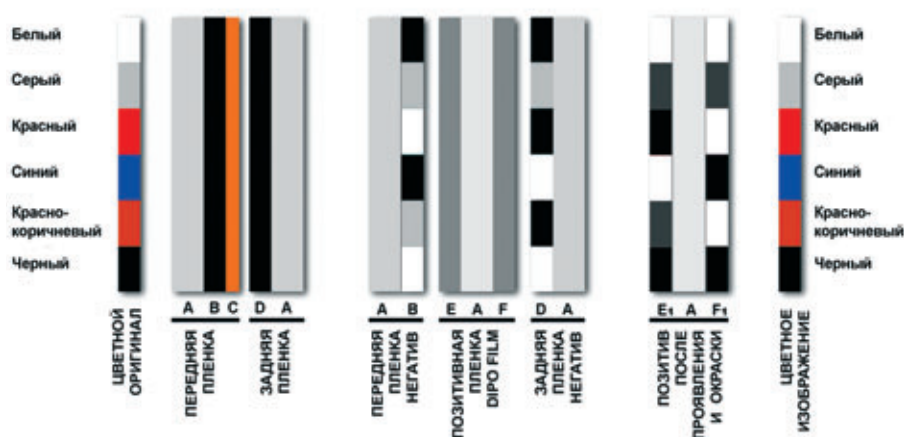
ДВУХЦВЕТНЫЕ СУБТРАКТИВНЫЕ СПОСОБЫ

Двухцветные субтрактивные способы разрабатывались и применялись в период с 1915 по 1949 год.

CINECOLORGRAPH (Синеколорграф)

Двухстороннюю плёнку для двухцветной субтрактивной печати предложил в 1910 году Леви, но она не на-

СХЕМА НЕГАТИВНОГО И ПОЗИТИВНОГО ПРОЦЕССА НА ДВУХСТОРОННЕЙ ПЛЁНКЕ



A – основа пленки; **B, D** – эмульсия негатива; **C** – цветной фильтр на эмульсионном слое фронтфильма, растворяемый в процессе проявления; **E, F** – эмульсия позитива

шла коммерческого применения. Процесс, основанный на применении двухсторонней позитивной плёнки для изготовления цветных копий, разработал американский инженер А. Эрнандес-Мейя (A. Hernandez-Mejia) в 1912 г.

Двухсторонняя позитивная плёнка называется в кинотехнике дипофильмом (Diplo Film). Отличалась она от обычной позитивной киноплёнки тем, что эмульсия наносилась на подложку с обеих сторон.

Британский фотографический журнал писал в те годы, что на такой плёнке количество эмульсии на обеих сторонах не больше количества, которое обычно употребляется для одной стороны.

Двухсторонняя позитивная плёнка «Дипофильм» имеет более мягкую, по сравнению с обычной позитивной плёнкой, градацию, так как при вируровании серебряного изображения происходит его значительное усиление и увеличивается контраст изображения.

На дипофильме можно производить печать с обоих негативов одновременно, и затем окрашивать каждую сторону фильма в нужные дополнительные цвета.

KODACHROME (I) (Кодахром)

Разработан сотрудником исследовательской лаборатории фирмы «Eastman-Kodak» Джоном Г. Кэпстаффом (John G. Capstaff) в 1916 году.

Цветоделённые изображения снимаются на одну плёнку кадр над кадром, с использованием внутреннего разделения лучей.

Джон Кэпстафф разработал оригинальный способ получения цветных копий, печать которых производится с позитива. Вначале путём контактной печати с негатива оригинала изготавливается комплект промежуточных рабочих позитивов. Оптический печатный аппарат, снабжённый хорошо разработанной системой призм, даёт возможность одновременно печатать на обе стороны двухсторонней плёнки с одного рабочего позитива, несущего оба цветоделённых изображения. Двухсторонняя

плёнка, на которой теперь находятся негативные изображения, проявляется и отбеливается. Отбеливающая ванна дубит плёнку только в тех местах, где напечатано изображение. Обе стороны плёнки окрашиваются затем в обычные субтрактивные дополнительные цвета, причём краситель адсорбируется желатиной только в незадубленных местах, и таким образом получается позитивное красочное изображение.

KESDACOLOR (Кесдаколор)

Процесс разработали Вильям ван Дорин Келли (William van Doren Kelley) и Каррол Х. Даннинг (Carroll H. Dunning) в 1918 году.

Первый цветной фильм – «American Flag» (Американский флаг) (1918) начал демонстрироваться в «Rialto Theatre» (Риалто Театр) Нью-Йорка 12 сентября 1918 г.

POLYCHROMIDE (Полихромид)

Процесс разработал в Великобритании американский химик Арон Гамбургер (Aron Hamburger) в 1922 году. Съёмка производилась на одну плёнку кинокамерой с оптической системой расщепления лучей. Чуть позднее аналогичная камера была разработана для системы «Техниколор».

Цветная копия печаталась на двухсторонней плёнке, которая после печати на обе стороны проявлялась и окрашивалась в соответствующие цвета в красильной машине. Одна сторона плёнки окрашивалась смесью фуксина с аурамином, другая – смесью малахитовой зелени с основной синей.

Процесс коммерчески эксплуатировался в Лондоне в течение нескольких лет. Не меняя процесс изготовления цветных копий, разработчики перешли на съёмку цветоделённых негативов на бипаке.

PRIZMA (II) (Призма II)

Разработан американским изобретателем Вильямом ван Дорин Келли (William van Doren Kelley) в 1918 году.

Съёмка производилась обычной кинокамерой, снабжённой obtюратором с обычными двухцветными съёмочными светофильтрами, со скоростью 32 кадра в секунду. Цветная копия печаталась на двухсторонней плёнке «Diplo Film», кадры выборочно печатались при помощи контактного прерывисто действующего аппарата. Одна сторона плёнки вирируется железным виражем в синий цвет, другая сторона – урановым виражем в красно-оранжевый цвет.

19 января 1919 года в нью-йоркском «Риволи Театре» (Rivoli Theatre in New York City) прошла премьера первого документального цветного фильма по системе «Призма II» «EVERYWHERE WITH PRIZMA» (Всюду с Призмой).

23 апреля 1922 года в Нью-Йорке прошла премьера первого цветного игрового полнометражного фильма по системе «Prizma II» – «THE GLORIOUS ADVENTURE» (Великолепное приключение).

Система «Призма II» коммерчески эксплуатировалась до середины 20-х годов XX века. Было выпущено в прокат более восьмидесяти цветных фильмов.

KELLEYCOLOR (Келликолор)

Процесс разработан американскими изобретателями Вильямом ван Дорин Келли (William van Doren Kelley) и Макс Хандшигл (Max Handschiegl) в 1925 году и является модификацией процесса «Prizma (II)».

В течение 1925 года по этой системе было снято несколько цветных мультфильмов, первый из них – о коте Феликсе «THE OLD FAMILY TOOTHBRUSH» (Старая семейная зубная щётка). 25 октября 1925 года в прокат был выпущен цветной документальный фильм «THE COLOR WORLD» (Цветной мир).

HARRISCOLOR (Харрисколор)

Разработан Вильямом ван Дорин Келли (William van Doren Kelley) в 1928 году.

В 1930 году по этой системе был снят только один фильм «A Gold Star Mother» (Мать золотой звезды).

PHOTOCOLOR (Фотоколор)

Процесс разработан американской компанией «Photocolor Corporation» (Фотоколор Корпорейшен) в конце 20-х годов. Применялся в кинопроизводстве цветных фильмов в 1930 году. В кинокамере установлена призматическая система расщепления луча, дающая два цветоделённых изображения.

Цветная копия изготавливается на двухсторонней позитивной плёнке. Причём оба изображения печатаются одновременно на обеих сторонах. После проявления производится контактная окраска в красно-оранжевый цвет с одной стороны, и сине-зелёный – с другой.

PILNEY COLOR (Пилней Колор)

Предложен в 1930 году.

HIRLICOLOR (Хирликолор)

Разработал Джордж А. Хирлиман (George A. Hirliman) в 1930 году.

COSMOCOLOR II (Космоколор II)

Разработал Отто С. Гилмором (Otto C. Gilmore) в 1939 г. Субтрактивный вариант системы «Cosmocolor I».

В 1940 году по системе «Cosmocolor» был снят первый и единственный цветной игровой полнометражный фильм «ISLE OF DESTINY» (Остров судьбы).

СЪЁМКА МЕТОДОМ «БИПАК»

Суть процесса съёмки по методу «Бипак» заключается в использовании двух плёнок, сложенных эмульсионными сторонами и вместе идущими в фильмовом канале специальной или обычной кинокамеры.

Для получения двух цветоделённых фотографических изображений Луи Дюко дю Орон (Louis Ducos du Hauron) предложил «Бипак» ещё в 1895 году. Но только в 1904 году в г. Берне Гертнер (Hertner) впервые описал и произвёл фотографическую съёмку по методу «Бипак» на стеклянных пластинках (передняя – низкочувствительная хлористая или хлоро-бromo-серебряная эмульсия, чувствительная к синим и фиолетовым лучам, задняя – чувствительная к оранжевым и красным лучам). Таким образом, разделение цвета и получение цветоделённых негативов получается за счёт использования двух раз-

личных негативных плёнок, чувствительных к своим зонам спектра.

В кинематографии передняя плёнка (в отечественном кинопроизводстве получившая название «Фронт-фильм») – ортохроматическая, чувствительная к синезелёным лучам, и съёмка на неё производится без дополнительного фильтра. Таким образом, передний негатив фиксирует синезелёный участок спектра.

«Фронт-фильм» обращён к объективу целлулоидом, через который и экспонируется. Задняя же плёнка экспонируется через переднюю, служащую одновременно оранжево-красным светофильтром, который нанесён на её эмульсию и при проявлении смыывается.

Задняя плёнка («Рюк-фильм») – панхроматическая, практически чувствительная (хотя и не совсем одинаково) ко всем цветам видимого спектра. Но из-за того, что на эмульсии передней плёнки полит красный фильтрующий слой, то на заднюю плёнку проходит только красно-оранжевый участок спектра. Следовательно, «Рюк-фильм» фиксирует красно-оранжевый участок спектра.

Таким образом, одновременно экспонируются два негатива, полностью совпадающие по контуру, без временного и пространственного параллакса. С двух цветодельных негативов производится печать на уже известную нам позитивную плёнку «Дипо-фильм», политую эмульсией с двух сторон. Каждая из них вирируется в соответствующий цвет, дополнительный к цвету, в котором снимался негатив.

Несмотря на то, что процесс «Бипак» применялся в цветной кинематографии с 1913 года, первый патент на него был выдан только в 1926 году.

В конце двадцатых годов XX века крупные киноплёночные фирмы начали выпуск комплектов плёнок для съёмки по методу «Бипак».

Сегодня при восстановлении старых двухцветных фильмов, снятых методом «Бипак», для получения «правильной» цветопередачи желательно знать, на каком комплекте плёнок они снимались, т.е., какие составляющие цвета оригинала.

БИПАК «Agfa ViPack Film» (Агфа Бипак Филм)

Комплект плёнок «Agfa Vi-Pack Film» разработан в 1930 году немецкой фирмой «Agfa».

Передняя плёнка – ортохроматическая, чувствительная к зелёному и синему свету. Задняя плёнка – панхроматическая, чувствительная только к красно-оранжевому свету.

Составляющая пара цветов: красно-оранжевый / синезелёный.

БИПАК «Rainbow Negative» (Рэйнбоу Негатив)

Комплект плёнок «Rainbow Negative», позднее переименованный в «DuPack» для съёмки по методу «Бипак», разработан в 1931 году американской фирмой «Du Pont Film Manufacturing Corporation».

Передняя плёнка – ортохроматическая, чувствительная к синему свету. Задняя плёнка – панхроматическая, чувствительная к оранжево-красному свету.

Составляющая пара цветов: синий / оранжево-красный.

БИПАК «Gevaert ViPack» (Гиверт Бипак)

Комплект плёнок «Gevaert ViPack» разработан в 1931 году бельгийской фирмой «L. Gevaert & Cie».

Передняя плёнка – панхроматическая, чувствительная к красному и синему свету. Синий свет срезается применением жёлтого светофильтра перед объективом, а не на плёнке. Таким образом, передняя плёнка становится чувствительной только к красно-оранжевому участку спектра. Задняя плёнка – ортохроматическая, чувствительная к синезелёному свету.

Составляющие цвета: оранжево-красный / синезелёный.

«Бипак» фирмы «Гиверт» не имел светофильтра на поверхности эмульсии передней плёнки. Его отсутствие упрощало производство плёнки, уничтожало неравномерность заднего негатива и повышало его резкость.

БИПАК «Kodak: Orthochromatic & Panchromatic Bipack»

Комплект плёнок «Orthochromatic & Panchromatic Bipack» разработан в 1930 году американской фирмой «Eastman Kodak Company».

Передняя плёнка – ортохроматическая, чувствительная к синему свету. Задняя плёнка – панхроматическая, чувствительная к оранжево-красному свету.

Составляющая пара цветов: синий / оранжево-красный.

Также надо иметь в виду, что задняя плёнка «Бипак» экспонируется через эмульсионный слой передней, поэтому резкость её всегда будет несколько пониженной. Поэтому для печати чёрно-белой копии лучше использовать «фронт-фильм».

Кстати, именно «фронт-фильм» в двухцветке и отдельно снимаемая плёнка в трёхцветке, как наиболее резкие, имеют больший износ и повреждения из-за того, что именно с них печатали чёрно-белые копии цветных фильмов, а в трёхцветке – ещё и бланкфильм для цветных копий.

ДВУХЦВЕТНЫЕ СУБТРАКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПО МЕТОДУ «БИПАК»

BREWSTER COLOR (Брюстер Колор)

Процесс разработал в 1913 году американский изобретатель Перси Дуглас Брюстер (Percy Douglas Brewster), одним из первых применивший «Бипак» в цветной кинематографии. Брюстер изобрёл и запатентовал много различных камер и печатных машин.

Камера для съёмки двухцветных фильмов имеет два фильмовых канала, расположенных под прямым углом друг к другу, и призмы куба с полупосеребрённой отражательной поверхностью, расположенной под углом в 45° к оси луча объектива.

Печать копий производится на двухсторонней позитивной плёнке с последующим вирированием.

Первый в мире цветной мультипликационный фильм «THE DEBUT OF THOMAS CAT» (Дебют кота Томаса) был снят по системе «Brewster Color» и выпущен на экран 8 февраля 1920 года.

COLORCRAFT (Колоркрафт)

Процесс разработан американцем У.Х. Пеком (W.H. Peck).

Печать копий на двухсторонней киноплёнке с последующим вирированием красителями с применением йодной протравы.

MULTICOLOR (Мультикolor)

Процесс, разработанный в 1926-1927 годах Уильямом Т. Креспинэлем (William T. Crespinel), был единственным в Голливуде конкурентом двухцветного процесса «Техниколор». С 1929 года по системе «Мультикolor» снимались цветные эпизоды для полнометражных, в основном, музыкальных фильмов, таких как: «The Great Gabbo» (Великий Габбо, 1929), «Married In Hollywood» (Женатый в Голливуде, 1929), «His First Command» (Его первая команда, 1929), «Sunny Side Up» (Солнечная сторона, 1929) и других.

Съёмка производилась обычной кинокамерой на комплект плёнок «Бипак». Цветные копии фильмов печатались так же, как в «Техниколор». Для печати по способу «Мультикolor» в Голливуде была построена отлично оборудованная и дорогостоящая фабрика.

С появлением и широким распространением в мире в середине 30-х годов XX века трёхцветного процесса «Техниколор» процесс «Мультикolor» больше не использовался.

26 мая 1929 года в Голливуде прошла премьера первого в мире полнометражного широкоформатного фильма-ревю на 70-мм плёнке с цветными эпизодами, снятыми по системе «Мультикolor», «FOX MOVIE TONE FOLLIES OF 1929» (Кинозвучковые безумства «Фокса» 1929 года).

27 мая 1930 года в Лос-Анджелесе и 15 августа 1930 года в Нью-Йорке прошли премьеры самого известного фильма с цветными эпизодами по системе «Мультикolor», который был снят в 1930 году о лётчиках в первой Мировой войне – «HELL'S ANGELS» (Ангелы Ада). О съёмках этого фильма рассказывается в фильме «Aviator» (Авиатор), снятом в 2004 году с Леонардо Ди Каприо в главной роли.

Первым цветным полнометражным игровым фильмом, полностью снятым по системе «Мультикolor», стал фильм «THE HAWK» (Ястреб), выпущенный на экран в 1931 году.

SIRIUS COLOR (Сириус Колор)

Процесс разработан в 1929 году немецким изобретателем Людвигом Хорстом (L. Horst) для Голландской компании «Sirius Kleuren Film, Utrecht, Holland» (Сириус Клейрен-фильм. Утрехт, Голландия).

Цветная копия печаталась на двухсторонней позитивной плёнке по особой технологии с последующей окраской в протравных виражах.



Кинокамера фирмы «Винтен» модель N с кассетой для «Бипака»

CHEMICOLOR (Чемиколор)

Английское название немецкой системы «UFAcolor» (УФАколор).

SENNET COLOR (Сеннет Колор)

Разработан американской компанией «Sennet Laboratories» (Сеннет Лабораториз) в 1930 году.

Для съёмки по методу «Бипак» используется нормальная кинокамера. Печать копий производится на двухсторонней позитивной плёнке с последующим вирированием одной стороны железным виражем в синий цвет, а другой стороны урановым – в красный.

SPECTRACOLOR (Спектраколор)

Аналог немецкой системы «UFAcolor» (УФАколор). Эксплуатировался в Великобритании компанией «Publicity Picture Productions Ltd., London» (Паблисити Пикчур Продакшенс Лимитед, Лондон).

UFAcolor

Киностудия «Universum Film A.G.» (Универсум Фильм Акциен Гезельшафт), сокращённо «UFA», в 1930 году разработала и внедрила в кинопроизводство двухцветный субтрактивный процесс «UFAcolor» (УФАколор), также известный как «UFAcolor – Agfa bipack film» (УФАколор – Агфа бипак фильм).

Съёмка производится на комплекте чёрно-белых негативных киноплёнок «Agfa bipack film» (красный/синезелёный) кинокамерой «Vinten» (Винтена). Печать позитива производится на двухсторонней позитивной плёнке «Agfa Dipo Film». После проявления каждая из сторон с помощью протравного процесса вирируется красителями с одной стороны в сине-зелёный цвет, а с другой – в красно-оранжевый.

По оценке современников, качество изображений по цветопередаче и резкости было очень высоким и сравнивалось с позитивами старого двухцветного процесса «Техниколор».

2 декабря 1931 года в Берлине началась демонстрация первого цветного документального фильма «BUNTE TIERWELT» (Пёстрая фауна), снятого по системе «UFAcolor».

По системе «UFAcolor» в 1932 году был снят цветной фрагмент для полнометражного игрового фильма «WASCHE-WASCHEN-WOHLERGEHEN».

В 1933 году по этой системе был снят первый индийский цветной звуковой фильм «Sairandhri».

Первый немецкий цветной короткометражный игровой фильм по двухцветному субтрактивному процессу «UFAcolor» «KARNEVAL» (Карнавал) был представлен зрителям на премьере, которая состоялась 20 марта 1936 года в Берлине.

Методом «UFAcolor» был снят цветной эпизод для англо-итальянского фильма-оперы «PAGLIACCI» (Паяцы).

Продолжение следует