

Мир Кино

ТЕХНИКИ

ЯНВАРЬ-МАРТ | 1(27)-2013 |

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



ЛАЗЕРНЫЕ
СИСТЕМЫ
ОТОБРАЖЕНИЯ
3D-КОНТЕНТА
ВЫСОКОЙ
ЧЁТКОСТИ

ОСОБЕННОСТИ
ЦИФРОВОЙ
СТЕРЕОСЪЁМКИ
ПРИ
КОНВЕРГИРОВАННЫХ
ОПТИЧЕСКИХ
ОСЯХ ОБЪЕКТИВОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ
ПРИ ОПЕРАТИВНОМ
ФОРМИРОВАНИИ
3D-ОБЪЕКТОВ
МЕТОДОМ
ФОТОПОЛИМЕРИЗАЦИИ

ВЛИЯНИЕ
Hi-Tech'a на

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ УЧАЩИХСЯ



№27 СОДЕРЖАНИЕ

Новости, обзоры

Фестиваль архивного кино «Белые столбы 2013»	2
Стереотехнологии в кинематографе и в образовании. К итогам III Международного 3D-стерео кинофестиваля 2012 года	3

Технологии

С.В. Кувшинов Комплексный эксперимент по изучению влияния Hi-Tech'a на психофизиологическое здоровье учащихся в условиях новой медийной образовательной среды	5
И.Д. Барский, А.И. Винокур, В. Родькина Точность цветовоспроизведения и управление цветом в цифровом кинематографе	8
С.Б. Бирючинский Лазерные системы отображения 3D-контента высокой чёткости	13
Е.И. Нестерова, В.С. Якимович, Г.М. Луговой Алгоритм оценки дифференциальной чувствительности к характеристикам, определяющим качество изображения и звука средств мультимедиа	17
О.В. Денисова, К.Г. Карапетян Применение ионообменной диффузии для получения микролинз оптических систем кино-, фото- и видеоаппаратуры	22
О.Н. Раев Особенности цифровой стереосъёмки при конвергированных оптических осях объективов	25
О.Э. Бабкин, В.В. Ильина, И.Г. Чезлов, В.Н. Михайлов Использование голографических изображений при оперативном формировании 3D-объектов методом фотополимеризации	30

Доклады

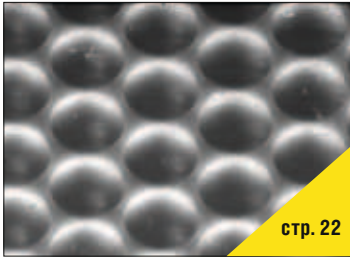
Е.Ю. Злоказов, Р.С. Стариков, А.Ю. Жердев, В.В. Колочкин, Д.С. Лушников, С.Б. Одинокоев, И.А. Швецов, А.В. Смирнов Применение методов инвариантного корреляционного распознавания образов для контроля качества мастер-матриц защитных голограмм	34
---	-----------

Страницы истории кино

Н.А. Майоров Самые первые в истории развития мирового кинематографа	39
--	-----------



стр. 5



стр. 22



стр. 30



стр. 39

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

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

Электронная версия www.elibrary.ru

Подписной индекс Роспечать: № 81923

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

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

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

Отпечатано в ООО «ИПП «КУНА»
Объём 5,5 п.л. Заказ № 1.
Тираж 600 экземпляров.

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

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

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



Фестиваль архивного кино «БЕЛЫЕ СТОЛБЫ 2013»



■ С 28 января по 1 февраля в подмосковных Белых столбах прошёл очередной, семнадцатый по счёту, фестиваль архивного кино «Белые столбы 2013». И как всегда – этот киносмотр «старого» кино преподнёс гостям и участникам кинофестиваля немало сюрпризов, открытий.

Гвоздём фестиваля стала программа Николая Изволова и Сергея Каптерева – первое знакомство с обнаруженными ими в чешском киноархиве советскими фильмами 1920–1930-х годов, которые уже давно были причислены к безвозвратно утерянным. Это, и считающаяся первой европейской киносъёмкой фильм Владимира Ерофеева «Афганистан», снятый в 1928 году к десятилетнему юбилею независимости этой страны; и потрясающая съёмка украинского танца «Гопак» в исполнении артистов Мариинского театра; и первые опыты совместить изображение со звуком Михаила Цехановского; и один из первых звуковых анимационных фильмов «Улица поперёк» режиссёра Владимира Сутеева, рассказывающий о правилах дорожного движения.

В рамках фестиваля прошла премьера документальной картины «Катастрофа в Оахаке» Сергея Эйзенштейна, снятая им 70 лет назад в Мексике и считавшаяся навсегда утраченной.

Ровно год отделяет нас от всемирного праздника спорта – Зимней Олимпиады в Сочи. За годы подготовки к приёму спортсменов всего мира Сочи неизменно изменился. А какой была столица зимней Олимпиады 2014 тридцать пять или шестьдесят пять лет назад? Об этом рассказали восстановленные отечественные стереоскопические фильмы «Солнечный край» (1948) и «Здравствуй, Сочи!» (1978). Специально для показа в предолимпийской программе фестиваля восстановлен и игровой стереофильм «Карандаш на льду» (1948). Стереофильм «Мастера спорта» (1953) сохранил для нас молодые жизнерадостные лица первых советских олимпийских чемпионов – победителей Олимпиады 1952 года в Хельсинки.

Единственный стереоскопический фильм классика отечественной анимации Ивана Петровича Иванова-Вано более тридцати лет нигде не демонстрировался. Сегодня,

полностью отреставрированный, этот экспериментальный анимационный стереоскопический фильм вновь возвращён зрителям. «Волшебное озеро» – вновь засияло на экране, как драгоценный кристалл из сокровищницы отечественного кинематографа. В программу стереопоказа был включён и восстановленный в этом году первый в мире стереоскопический научно-популярный фильм «Кристаллы» (1948). Посмотрев этот фильм, зрители не только познакомились с коллекцией драгоценных камней и услышали рассказ о том, что такое кристаллы, но и увидели первую отечественную стереоскопическую кукольную и рисованную анимацию, на целых пять лет опередившую стереоскопические эксперименты Уолта Диснея.

Спустя 78 лет обрёл новую жизнь первенец отечественного цветного кино «Карнавал цветов», снятый в 1935 году режиссёром Николаем Экком и оператором Федором Проворовым по отечественной двухцветной технологии. Одни считали его бесследно утраченным, другие – загубленным в годы Великой отечественной войны, третьи утверждали, что плёнка полностью разложилась в гидролизе, четвёртые... А он спокойно лежал на «ёлочке» фильмохранилища Госфильмофонда России и дожидался своего часа, когда новые цифровые технологии позволили вновь соединить вместе два цветоделённых негатива, чтобы предстать перед зрителем XXI века во всём своём двухцветном многоцветии. Эта уникальная киноплёнка пережила своих создателей, добрых и злых критиков, страну, в которой снималась и успехи которой прославляла. «Карнавал цветов» вернулся к нам как памятник эпохи, как памятник энтузиазму его создателей, как бесценный документ истории развития отечественной кинотехники и кинематографа.

Вошедшие в программу фестиваля стереофильмы и советские довоенные мультфильмы восстановлены и подготовлены к показу Николаем Майоровым и Владимиром Котовским. ■

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



СТЕРЕОТЕХНОЛОГИИ В КИНЕМАТОГРАФЕ И В ОБРАЗОВАНИИ. К итогам III Международного 3D-стерео кинофестиваля 2012 года

Состояние отечественного стереокино наглядно проявляется во время проведения различных форумов, таких, например, как прошедший в Москве с 6 по 9 декабря 2012 г. III Международный ежегодный 3D-стерео кинофестиваль.

Фестиваль организован ФГУП «Московское конструкторское бюро киноаппаратуры» (МКБК) и компанией «3D Лига» при официальной поддержке Министерства культуры Российской Федерации и Союза кинематографистов РФ.

Партнёрами фестиваля в 2012 г. выступили: Московский киноинститут (МКВИ), Российский государственный гуманитарный университет (РГГУ), Московский технологический колледж № 14, компания Christie, компания Epson, московский кинотеатр «Салют» и многие другие организации и частные лица.

Для участия в фестивале поступило 27 заявок из 8 стран. В конкурсную программу были включены 24 стереофильма из 7 стран: Великобритании, Испании,

Латвии, Российской Федерации, Украины, Финляндии, Южной Кореи.

Состояние и перспективы отечественного стереокино

По мнению участников фестиваля, перспективы российского стереокино зависят, прежде всего, от качества создаваемых стереофильмов – как художественного, так и технического. В большинстве конкурсных стереофильмов присутствуют ошибки в стереоизображениях. Поэтому до принятия решения о показе любого стереофильма необходима техническая экспертиза фильма, на основании которой следует определять, можно ли допустить его на кинорынок, и если можно, то на экранах каких размеров его нужно показывать. При обнаружении ошибок качества рекомендовать производителям их исправить, что в большинстве случаев может быть выполнено на стадии «пост-продакшн». Для этого нужны нормативные документы, регламентирующие параметры





качества цифровых стереофильмов, методики их контроля и методики исправления ошибок. Их необходимо разработать и довести до создателей стереокино. Иначе зритель, однажды посмотрев некачественный стереофильм, вызвавший у него неприятные ощущения (резь в глазах, головокружение и т.д.) или просто ощущение дискомфорта, скорее всего, больше не захочет смотреть стереокино. Более того, он наверняка поделится своим негативным опытом с другими, что отрицательно скажется на интересе к стереокино.

Причины выхода на экраны некачественных стереофильмов следующие.

1. Отсутствие контроля качества стереофильмов.

2. Почти двадцатилетний перерыв в производстве отечественного стереокино, за время которого произошла смена поколений кинопроизводителей и, по сути, разрыв преемственности, в результате чего современные стереографы часто даже не знакомы с опытом и достижениями стереокино в СССР.

3. Современные цифровые стереотехнологии таковы, что в производство стереофильмов вовлекается всё больше и больше специалистов и энтузиастов из других областей кинематографа (да и не только кинематографа), к сожалению, многие из них не обладают должной квалификацией.

4. Для получения качественного стереокино недостаточно быть режиссёром или оператором, нужно ещё знать законы формирования стереоизображения и уметь рассчитывать оптимальные параметры стереосъёмки.

В результате на современном этапе развития стереокино актуальной задачей является квалифицированное обучение стереотехнологиям. Этот процесс в последнее время уже начался, но появившихся курсов явно не достаточно, да и не всегда они дают качественные знания и необходимые практические навыки. Поэтому необходимо всесторонне содействовать организации постоянно действующей системы обучения и повышения квалификации специалистов и любителей.

Стереотехнологии в образовательном процессе

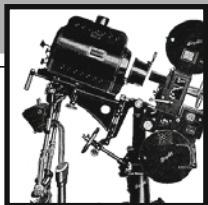
Современные стереотехнологии вышли за рамки традиционного стереокино. Наиболее перспективно внедре-

ние стереокино в образовательные процессы. В рамках фестиваля 7 декабря 2012 г. в колледже № 14 был проведён круглый стол «Применение 3D-стереоскопических технологий в среднем и специальном образовании», а 8 декабря 2012 г. в РГГУ – круглый стол «Применение 3D-стереоскопических технологий в высшем образовании и науке». Согласно регистрации, в работе обоих круглых столов приняли участие представители 18 колледжей, 9 вузов, а также Министерства образования и науки РФ и Департамента образования г. Москвы.

Участники круглых столов отмечали, что, несмотря на доступность и наличие в образовательных учреждениях необходимых технических средств, внедрение стереотехнологий в образовательные процессы задерживается из-за отсутствия необходимого стереоконтента. А зарубежный контент, как показала практика, в большинстве случаев не соответствует отечественным образовательным стандартам. Поэтому в настоящее время необходимо создание отечественного стереоконтента и методик обучения с помощью стереотехнологий, а также нужных нормативных документов. Полезно всесторонне содействовать организации творческих групп профессионалов для создания учебных фильмов на новой технологической базе. Целесообразно создать образцовый демонстрационный центр образовательных стереотехнологий, пропагандирующий качественные учебные стереофильмы. Стереотехнологии наиболее эффективно внедрять в дисциплины, связанные с различными приложениями видеотехнологий (например, при обучении фотографов и кинооператоров). Кроме того, существует много дисциплин в медицине, архитектуре, технике и т.д., в которых объёмное представление изучаемых объектов очень полезно, поскольку развивает пространственное воображение обучающихся. Рекомендовано также обратить особое внимание на внедрение стереотехнологий в систему дополнительного образования и надомного (дистанционного) обучения.

Оргкомитет выражает благодарность и признательность всем участникам и организаторам фестиваля. ■

О.Н. Раев, к.т.н., ФГУП «МКБК»;
фотографии М.Г. Сапегина



КОМПЛЕКСНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЛИЯНИЯ HI-TECH'A НА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ УЧАЩИХСЯ в условиях новой медийной образовательной среды



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

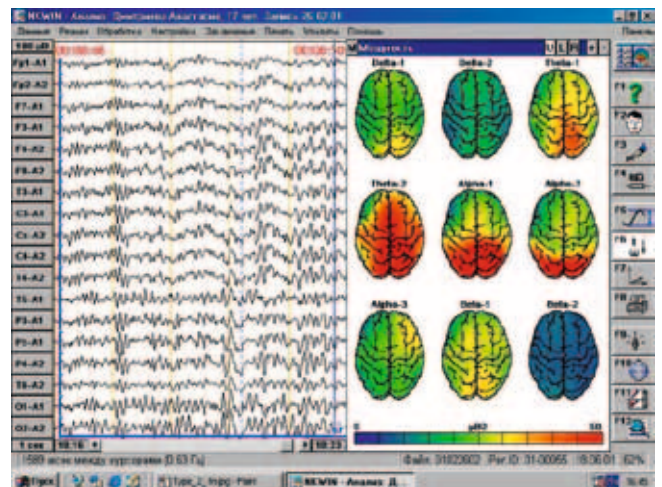
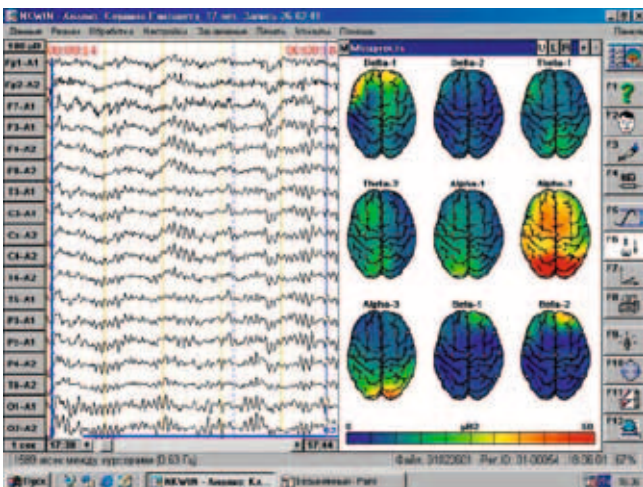
■ Современный опыт подготовки специалистов в высших учебных заведениях, взявших курс на интенсификацию обучения с использованием высоких технологий, показывает, что эти процессы требуют от студентов существенного напряжения в области восприятия, запоминания и творческого усвоения очень больших объёмов аудиовизуальной, тестово-графической информации в сжатые сроки.

Современные аудиовизуальные средства отображения зрительной и слуховой информации, в особенности 3D и интерактивные системы, позволяют значительно интенсифицировать процесс подготовки; при этом важное значение имеет не только расширение доступа к многоканальным источникам информации, простота и скорость её получения, но также параллельная активация нескольких информационных каналов сенсорных систем человека (при одновременном предъявлении вербальной и графической зрительной информации и вербальной и невербальной слуховой информации), а также возможность произвольного управления параметрами подачи информации (содержание, темп, повторы) преподавателем или самим студентом в зависимости от качества усвоения и индивидуального когнитивного стиля студента, что облегчает запоминание и стимулирует процесс ассоциативного мышления.

Нами было замечено, что подготовка и обучение в новых условиях воздействия медиа, например, в условиях

учебно-исследовательского ситуационного центра ВУЗа (УИСЦ), оборудованного системами трёхмерной визуализации, связана с новыми проблемами. В частности, выявлено, что степень утомления оказывается в полтора раза выше, чем при использовании типовых медийных технологий подачи материала. Известен ряд факторов, неблагоприятно влияющих на работоспособность, самочувствие и здоровье учащихся у дисплейных терминалов, в первую очередь: неподвижная поза, ведущая к нарушениям общего и мозгового кровообращения; длительная фиксация взгляда на экране, вызывающая спазм аккомодации и ухудшение зрения; положительная ионизация воздуха в помещении за счёт наличия электронных блоков, способствующая развитию сонливости, снижению внимания и работоспособности. Наконец, известны и описаны случаи приступов фотогенной эпилепсии, спровоцированных специфическими частотами модуляции яркости изображения и параметрами его движения на экране монитора, а также случаи серьёзных расстройств сознания при использовании в условиях многофункционального медийного центра средств создания виртуальной реальности.

Поэтому не исключено, что психофизиологическая «цена» интенсивного обучения может оказаться неправомерно высокой (по крайней мере, для некоторых студентов). В Институте новых образовательных технологий РГГУ совместно с Научным центром психического



здоровья РАМН в течение последних лет проводились исследования с целью разработки комплексного системного подхода к оценке эффективности и психофизиологической «цены» интенсивного обучения в условиях учебно-исследовательского ситуационного центра. Научно-методической основой для проведения данного исследования являются: программно-аппаратные обучающие комплексы и обучающие программы, экспресс-методы оценки эффективности обучения, психометрические методы объективной оценки ряда психологических характеристик человека, методы мониторинга и экспресс-диагностики функционального состояния (утомления, уровня внимания) человека, а также функционального состояния некоторых мозговых систем – зрительной, глазодвигательной, лобной коры по параметрам электроэнцефалограммы (ЭЭГ), разработанные сотрудниками лаборатории нейрофизиологии НЦПЗ РАМН, аппаратно-программный комплекс для многоканальной регистрации и количественного анализа ЭЭГ «МБН-Нейрокартограф». Программа исследований включала в себя несколько этапов:

- Предварительное психофизиологическое тестирование участников эксперимента.
- Сравнение оценок усвоения информации и психофизиологических показателей утомления при обычном и интенсивном обучении в УИСЦ.

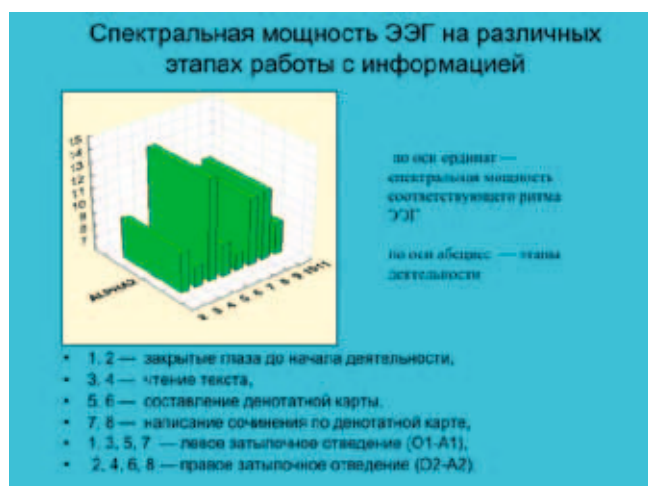
- Исследование динамики психофизиологических показателей внимания и утомления в процессе интенсивного обучения в условиях СЦ.

- Уточнение психофизиологических параметров, информативных в отношении оценки функционального состояния в процессе обучения.

- Выработка рекомендаций в отношении принципов и критериев профессионального отбора и формирования групп студентов для интенсивного обучения и дальнейшей работы с высокотехнологичным оборудованием.

Особое внимание уделялось выработке рекомендаций в отношении содержания, темпа и динамики предъявления комплексной, 3D информации в процессе интенсивного обучения с применением современных информационно-коммуникационных и аудиовизуальных технологий.

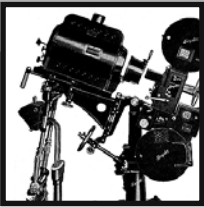
В рамках проводимого в ИНОТ РГУ эксперимента были выявлены различия в успешности обучения у студентов в условиях УИСЦ (32 человека в возрасте 17–23 лет) с разными типами фоновой электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Наиболее успешными, по данным психолингвистического анализа продукта творческой деятельности, оказались студенты с а-типом ЭЭГ, причём лучшие показатели, в отличие от чисто «операторских» профессий, имели лица не с нормальным (около 10 Гц), а с ускоренным (10,5 Гц и выше) ос-ритмом, что, возможно, связано с относительно более высоким тем-



пом мышления и лёгкостью образования ассоциаций. Студенты с десинхронным и гиперсинхронным типами ЭЭГ, отражающими определённый дефицит или незрелость тормозных систем головного мозга, показали более низкие результаты. При сравнении успешности обучения лиц разного пола (20 девушек, 12 юношей) отмечены тенденции к лучшему абстрактно-логическому мышлению у юношей и к лучшему восприятию и запоминанию деталей информационного материала у девушек. В процессе работы с выводимой текстовой информацией («левополушарная» задача) наибольшая активация левого полушария (в виде угнетения ос-2 компонента ЭЭГ) отмечена при составлении аналитического материала типа «денотатная карта», требующая наибольшего интеллектуального напряжения. В результате учебного сеанса занятия длительностью 1,5 часа происходило снижение спектральной мощности α -ритма со смещением его фокуса в левую затылочную область и усиление ρ -активности, что отражало активацию головного мозга – либо феномен «вработывания», либо развитие начальных стадий утомления, затрагивающего, преимущественно, тормозные системы левого полушария. Признаков выраженного утомления (в виде замедления α -ритма), сравнимого с утомлением операторов в результате монотонной сенсомоторной деятельности, у студентов выявлено не было.

Таким образом, мониторинг динамики спектра ЭЭГ студентов в процессе учебного занятия позволяет не только судить об уровне внимания, степени утомления и «психофизиологической цене» обучения, но и различать разные по содержанию и нейрофизиологическому обеспечению виды интеллектуальной деятельности. Полученные данные указывают на перспективность комплексного психолого-психофизиолого-педагогического подхода к индивидуальной оптимизации процесса обучения студентов с применением современных технологий образования, медийных систем трёхмерной визуализации, реализуемых в условиях учебно-исследовательского ситуационного центра высшего учебного заведения. Следует отметить, что аудиовизуальная техника и высокие технологии в своём глобальном, тотальном наступлении на общество, образование и культуру приводят, в конечном счёте, к «деформации» молодых людей. Сегодня этих молодых людей всё чаще называют Homo Digital.

Всепроникающие технологии – это не столько инструменты, сколько новая среда существования и формирования новой сущности человека, поэтому мы должны быть внимательны, предупредительны ко всем проявлениям, связанным с внедрением Hi-tech'a в различные стороны нашей жизни и, в особенности, в образовательные процессы. ■



ТОЧНОСТЬ ЦВЕТОВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ЦВЕТОМ В ЦИФРОВОМ КИНЕМАТОГРАФЕ

И.Д. Барский, к.т.н.,
ВГИК; А.И. Винокур,
д.т.н., В. Родькина,
студентка 5-го курса,
МГУП



Аннотация

В работе обосновывается актуальность проведения цветокоррекции и обеспечения точности цветовоспроизведения в аналоговом и цифровом кинематографе. При этом рассматриваются существующие методы и общая схема современного процесса фильмопроизводства. Успешность цветокоррекции непосредственно связана с тем, как устройства воспроизведения и регистрации цвета интерпретируют одну и ту же цветовую информацию, поэтому в статье внимание акцентируется на важности обеспечения одинаковой интерпретации и используемых для этого методах, таких как цветовые профили устройств. Объясняется популярность открытых систем управления цветом в полиграфии, рассматривается опыт зарубежных компаний, а также проекты для осуществления в будущем.

Ключевые слова: фильмопроизводство, цветовоспроизведение, цветокоррекция, системы управления цветом, цветовые профили устройств.

Обоснование актуальности проведения цветокоррекции в аналоговом и цифровом кинематографе

Максимально полное соответствие облика кинофильма авторской художественной концепции в любом формате воспроизведения – основная задача кинопроизводства. Цветовые изобразительные характеристики играют одну из ключевых ролей в её выполнении. При просмотре

COLOR MANAGEMENT AND THE ACCURACY OF COLOR REPRODUCTION IN DIGITAL CINEMA

I. Barskiy, A. Vinokour, V. Rod'kina

Abstract

In this paper, we explain why color correction and assurance of accurate color reproduction is a vital topic for analogue and digital cinema. We are examining the currently existing methods and the general scheme of contemporary filming process. The successful result of color correction depends on the way the color reproduction and capturing devices interpret the same color information, and this is why our attention in this paper is focused on the importance of providing the same interpretation and the methods used, such as devices' color profiles. We explain the popularity that open Color Management Systems gained, examine the experience of international companies, and also the projects to be implemented in the future.

Keywords: filming process, color reproduction, color correction, Color Management Systems, devices' color profiles.

ре съёмочного материала обнаруживаются ошибки экспозиции, нежелательный сдвиг по тону. Часто снимать сцену заново бывает более накладно, чем позже проводить цветокоррекцию, тем более, что современные программные средства, интегрированные в процесс DI (Digital Intermediate), позволяют достаточно широко манипулировать изображением. Иногда режиссёр созна-

тельно планирует последующую цветокоррекцию некоторых сцен, зная, что «кровавый» закат сложнее поймать, чем создать искусственно. Финальная цветокоррекция проводится на последних стадиях пост-продакшн или первых стадиях мастеринга и включает в себя изменения тона, контраста изображения и т. д. Режиссёр наблюдает за ходом работ и даёт указания на желаемые изменения. Важно, чтобы изображение выглядело достоверно, хотя и не всегда обязательно, чтобы сцена выглядела так же, как в реальности – здесь облик картины определяется художественным видением.

В процессе работы с изображением важно не допустить непреднамеренных изменений цвета. Это может произойти, например, на стадии сканирования плёнки (при съёмке на плёночную камеру), при редактировании материала на устройствах, которые по-разному воспроизводят цветовую информацию (обладают различным цветовым охватом, не откалиброваны), при переводе цифрового файла из одного формата в другой, при сжимающем кодировании видео и т. д. На каждом этапе работы у коллектива создателей должна присутствовать уверенность: изображение, которое они видят в данный момент в этих условиях просмотра на этом оборудовании, будет выглядеть так же и в другое время в других условиях.

Когда цвет удовлетворяет цветокорректора и режиссёра, и создаётся окончательная версия картины (мастер-копия), важно организовать процессы создания копий для различных условий просмотра (проецирование в кинозале с помощью плёночного или цифрового проектора, видеопрокат, телетрансляция, DVD и т. д.) так, чтобы во всех случаях они по цветовым ощущениям зрителей были максимально близки к финальной версии фильма, которую одобрил режиссёр во время предпросмотра. Понятия достоверности, цветовых изобразительных характеристик и цветового ощущения детально раскрываются авторами в [1].

Поэтому в процессе кинопроизводства нужно учитывать два основных аспекта цветового облика картины – осуществление цветокоррекции и обеспечение точности цветовоспроизведения на всех этапах создания, распространения и демонстрации кинофильма.

Исторический обзор подходов и методов

Технологии обработки плёнки совершенствовались на протяжении века. Цветокоррекция проводилась за счёт управления протеканием химических реакций и контроля процессов. Краски, фильтры и другие материалы были спроектированы и подобраны так, чтобы в комбинации друг с другом и при определённых условиях использования давать удовлетворительный результат. На практике уже уходящий в прошлое процесс цветокоррекции в плёночном кинематографе (color timing, color grading) – трудоёмкий и дорогостоящий, требующий нескольких повторений технологической цепочки вывода изображения на плёнку, прежде чем будут достигнуты

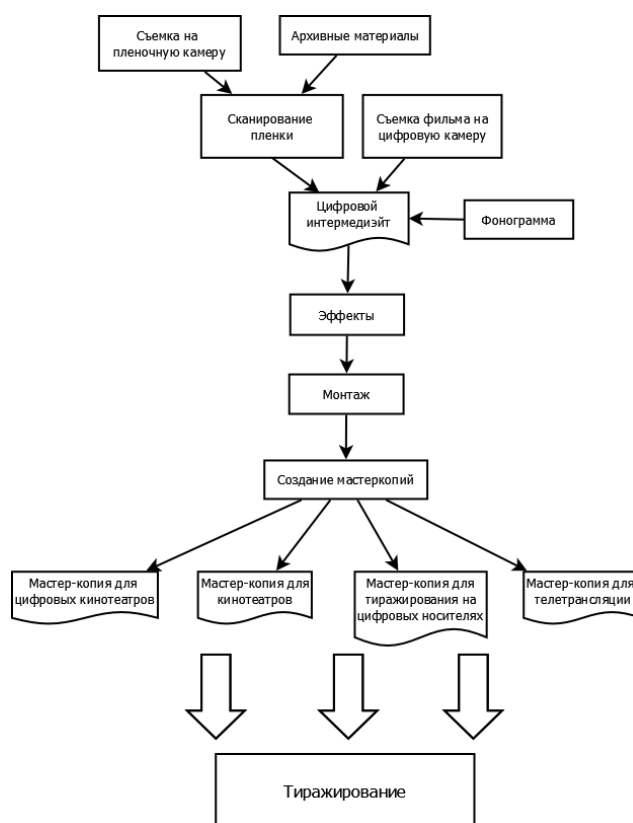


Рис. 1. Общая схема современного процесса фильмопроизводства

требуемые цветовые характеристики картины. Сегодня в большинстве фильмов независимо от того, сняты они на цифровую камеру или плёночную, цветокоррекция проводится на этапе обработки DI. Плёнка сканируется с высоким разрешением (2K/4K) для последующей цветокоррекции на установках типа DaVinci, Pogle и т. д. Дальнейшая работа происходит с цифровыми данными до финального этапа создания эталонной копии, после чего происходит запись получившегося изображения на плёнку. Задача управления цветом, таким образом, переходит в область обработки цифровых данных. Компьютерная обработка предоставляет более широкие возможности по управлению цветом, чем лабораторная. Процесс создания эталонных копий схематично представлен на рис. 1, его структура подробно обсуждается в [2], а существующие процессы цветокоррекции в аналоговом и цифровом кинематографе описаны в [3].

В телевидении вопрос управления цветом не менее актуален. Несмотря на то, что существуют стандарты SMPTE (Society of Motion Picture and Television Engineers) по репродуцированию цвета, касающиеся физической стороны процесса, цвета изображения часто выводятся на экран не точно, поскольку условия просмотра не всегда являются идеальными, а технологии вывода – отвечающими стандартам. Любопытно, что ни одна организация, занимающаяся стандартизацией в области кино, не утвердила стандарт для передаточной функции мони-

тора предпросмотра [3]. Технические стороны этого вопроса исчерпывающе обсуждаются в [4].

Во всех случаях успешность цветокоррекции напрямую связана с тем, как хорошо устройства в технологической цепочке «понимают» друг друга, насколько точно они откалиброваны. Работа с цветом в принципе невозможна, если на этапах переноса цветовой информации от одного устройства к другому существует вероятность её искажения или неправильной интерпретации. В таких условиях замена устройства в цепочке производства немедленно влечёт за собой перенастройку, подгонку характеристик смежного оборудования. Это делает процесс получения итоговой картины более громоздким и лишает его возможной гибкости.

Если бы удалось обеспечить поддержку различных устройств перевода фильмового материала в цифровой формат и устройств записи на плёнку, к которым бы предъявлялось единственное требование – требуемый цветовой охват – процесс кинопроизводства стал бы на порядок более гибким.

Современная практика иностранных фирм

Как правило, для любой отрасли на этапе внедрения новой практики характерно появление проприетарных технологий. Так и здесь, компании начали разрабатывать каждая собственные технологии для сохранения эталонного облика картины при обработке цифровых данных и выводе изображения на плёнку. Эти решения обычно имеют вид LUTs (*lookup tables*) – механизма перевода диапазона цветов из охвата одного цветового пространства в цветовой охват другого, реализованного на аппаратном или программном уровне. LUTs позволяют имитировать на дисплее то, как изображение будет выглядеть после печати на плёнке (аналог *soft-proofing* в полиграфии), осуществлять печать на плёнку, переводить изображение в телевизионные форматы, в формат для цифровых проекторов и т.д. Множественные LUTs различных производителей привели к «битве LUTs» – каждый производитель утверждает, что именно его технология построения LUT приводит к лучшим результатам при преобразовании изображения.

В такой ситуации невозможно создать систему, обеспечивающую взаимодействие, модульную, легко расширяемую и устойчивую. Необходим переход на следующий этап развития отрасли – разработку стандартов. Несколько организаций в мире решают эту задачу: SMPTE, AMPAS (Academy of Motion Picture Arts and Sciences), ASC (The American Society of Cinematographers), ICC (International Color Consortium), DCI (Digital Cinema Initiatives). Некоторые из них рассматривают возможность внедрения в киноиндустрию системы управления цветом, аналогичную той, что широко используется в полиграфии, а именно, основанной на использовании профилей.

Цветовые профили устройств – одна из составляющих открытых систем управления цветом. Это кроссплатформенный

стандарт формата файлов, необходимых для характеристики устройств цветовоспроизведения, который был выработан Международным Консорциумом по Цвету (ICC) и вошёл в стандарт ISO 15076–1:2010. ICC-профиль является общим решением проблемы управления цветом, потому что он способен предоставлять метаданные источника и универсальную точку отсчёта для калибровки. Заметим, что существует некоторое сходство между результатом процесса цветоустановки (*color timing*) – цветовым паспортом, сопровождающим негатив, и профилем, встроенным в цифровое изображение.

Одной из причин широкого распространения открытых систем управления цветом в полиграфии является то, что они позволяют контролировать и поддерживать верность цветовоспроизведения на всех этапах допечатной подготовки. Разнородность источников и приёмников цветовой информации приводит к возникновению следующих ситуаций:

1. Один и тот же материал передаётся на различные устройства вывода (проектор кинотеатра, экран телевизора, компьютера).

2. Материал от различных производителей передаётся на одно устройство (пользователи смотрят на видеоизображения от различных телекомпаний на одном телевизоре, на фото- и видеоизображения на различных сайтах на одном дисплее, смотрят кино от различных производителей в одном кинотеатре).

3. Различные типы медиа демонстрируются на одном устройстве (текст, фото, видео, кино, игры).

4. Один файл с медиаданными может включать в себя искусственно созданные статические изображения, фотографии, видеоматериал, кино, анимацию (веб-страницы, Flash-ролики, PDF, игры).

В кинопроизводстве также постоянно имеют дело с множественными источниками и целевыми устройствами вывода киноматериала. При этом практика использования систем управления цветом и профилирования в полиграфии показала, что с проблемой сохранения цветовой информации неизменной эта технология справляется успешно и оперативно. Запрос на разработку аналогичного решения проблемы цветовоспроизведения в кино от индустрии к Консорциуму поступил в 2002 году, с тех пор Консорциум неоднократно поднимал эту тему на конференциях, публиковал статьи, создал специальную рабочую группу исследователей Digital Motion Picture Working Group, посещал киносъёмочные площадки. Консорциумом ставится задача проектирования системы управления цветом в кинематографе, которая была бы:

- кроссплатформенной;
- открытой;
- свободной, непроприетарной.

Такой стандарт будет иметь ряд преимуществ:

- доступность;
- низкую стоимость реализации;
- лёгкое внесение изменений в рабочий процесс;

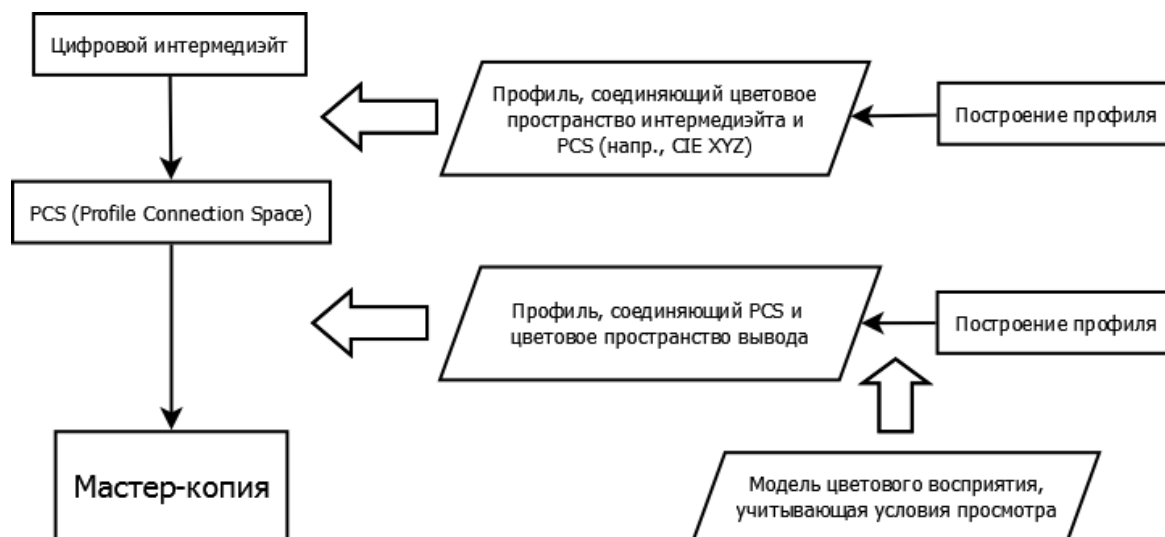


Рис. 2. Схема перевода видеоизображения из формата цветowego интермедиэйта в формат мастер-копии

- взаимодействие в системах с разнородными компонентами;
- снижение инвестиционных рисков;
- отсутствие правовых рисков;
- отсутствие преимуществ у конкретных разработчиков.

В задачи системы входит:

- стабильность и совпадение представления цветовой информации на любом дисплее;
- предпросмотр того, как видеоматериал будет выглядеть на экране кинотеатра;
- конвертация между киноплёнкой и рабочим пространством, линейным к свету.

Существуют специфические для сферы кино трудности внедрения технологии, основанной на подобном стандарте. Так, например, киноплёнка обладает значительно большим цветовым охватом, чем существующие системы многокрасочной печати. Видеоинформацию иногда требуется обрабатывать в режиме реального времени, что накладывает определённые ограничения на время выполнения алгоритмов по преобразованию цветовой информации. Тем не менее, разработка системы управления цветом, основанной на некотором стандартном формате спецификации устройств, существенно облегчается существованием зарекомендовавших себя и широко используемых технологий профилирования для нужд полиграфии. Успешность внедрения ICC-профилей в полиграфию позволяет надеяться, что аналогичная технология найдёт своё применение и в кино. Создание такой системы облегчило и удешевило бы работу и с архивными фильмовыми материалами: сохранение исходного облика картины при создании копий для хранения и возможность проката архивных кинофильмов.

Перспективы создания учебных лабораторий в ВУЗах России

Программное обеспечение для создания профилей при их построении использует некоторую модель

восприятия цвета с учётом условий просмотра. Таким образом, можно на этапе перевода материала из формата цифрового интермедиэйта в форматы мастер-копий для каждого из вариантов строить свой профиль (рис. 2).

Несмотря на то, что ICC-Консорциум проводит исследования по применению профилирования в процессе обработки видеоданных, стандарта в этой области ещё не появилось. Проекты систем управления цветом в кино, представленные на официальном сайте Консорциума [5], предполагают в рабочей цепочке производства кинофильма четыре профиля (рис. 3):

- Профиль Негатива Камеры (Camera Negative Profile) – получение цветовых измерений по оптической плотности (DPX).
- Профиль Рабочего Пространства (Working Space Profile) – перевод в RGB координаты для редактирования.
- Профиль Предпросмотра в Кинотеатре (Theater Preview Profile) – вычисление того, как фильм будет выглядеть в конкретном кинотеатре.
- Профиль Дисплея (Display Profile) – перевод изображения в координаты дисплея, на котором ведётся предпросмотр.

Существуют различные алгоритмы создания профилей в открытых системах, однако процедура определения численных значений в файлах профилей неустойчива относительно малых изменений экспериментальных данных. Следовательно, данная задача попадает под определение класса некорректных и решаться может соответствующими методами [6].

ICC-Консорциум ещё несколько лет назад заявлял, что технология Консорциума может быть использована в производстве кинофильмов. Консорциум сотрудничает с AMPAS, его представители посещают съёмочные площадки Голливуда для наблюдения. Замечательно то, что перспектива внедрения системы управления цветом, работающей с цветовыми профилями, уже серьёзно

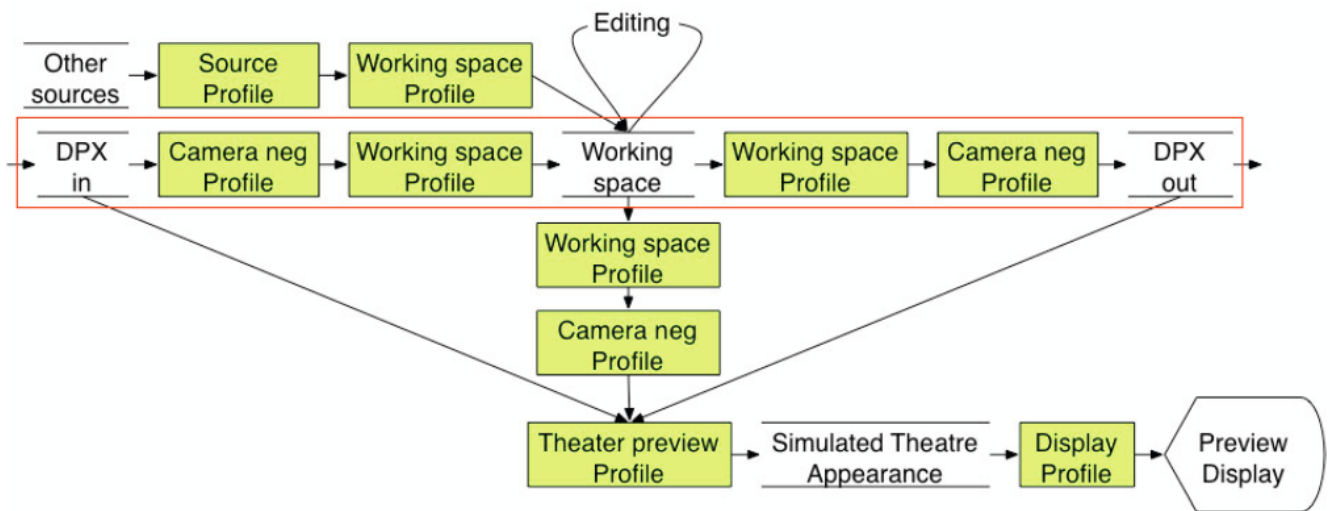


Рис. 3. Цепочка трансформаций видеоизображения в процессе редактирования материала

обсуждается компаниями, работающими в сфере кино. Так, компания Dreamworks рассматривала возможность построения своей будущей системы управления цветом на использовании ICC-профилей [7]. Консорциум ICC открыт к сотрудничеству и наглядно обрисовывает выгоды членства [8]. Для компаний, занимающихся производством оборудования, созданием фильмов и распространением кинопродукции, это, прежде всего, возможность «держать руку на пульсе» и использовать новейшие технологии в своей работе. Для научных и учебных организаций это замечательная возможность наряду с признанными учёными в области цвета принять участие в новейших исследованиях и получить доступ к ещё не опубликованным, находящимся в закрытом доступе и стадии разработки, документам. Замечательным примером в этом отношении является цветовая лаборатория норвежского университета Gjøvik University College, которая сотрудничает с консорциумом ICC и является его почётным членом. В лаборатории проводятся исследования по разработке улучшенных методов и инструментов

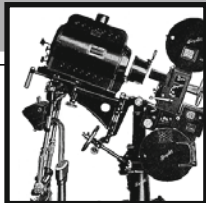
контроля цветовой информации в производстве и представлении цифрового видео [9]. Подобные изыскания могут оказывать влияние на решения Консорциума, принимаемые при создании спецификаций. Учитывая, что этот процесс находится ещё на ранней стадии, возможность включиться в работу над стандартом, который может быть принят за основу на долгое время, представляет интерес для организаций, так или иначе связанных с киноиндустрией.

Заключение

С учётом того, с какой частотой в киноиндустрии появляются новые форматы, аппаратные решения и технологии воспроизведения, концепция ICC-профилирования представляется особенно актуальной. Её реализация позволит производить переход к новым технологиям производства оперативно и с минимальными трудностями, управлять преобразованиями оригинала при изготовлении мастер-копий, с учётом условий рассматривания для каждого варианта. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Артюшин Л.Ф., Барский И.Д., Винокур А.И. / Под общей редакцией Артюшина Л.Ф. Справочник кинооператора, М.: «Галактика-Л», с. 256, 1999.
2. Винокур А.И., Белоусов А.А., Васин М.С. Технология копирования архивных материалов, М.: НИКФИ, с. 180, 2003.
3. Swartz Charles S. Understanding Digital Cinema: A Professional Handbook, Focal Press, Elsevier, p. 328, 2005.
4. Poynton Charles. Digital Video and HD, Second Edition: Algorithms and Interfaces, Morgan Kaufmann Publishers, p. 712, 2012.
5. <http://www.rps-isg.org/DF2008/RecentDevelopmentsICC.pdf>
6. Бакушинский А.Б., Гончарский А.В. Некорректные задачи. Численные методы и приложения. М.: Изд. Московского Университета, с. 989, 1991.
7. <http://www.color.org/wpaper1.xalter>
8. http://www.color.org/join_icc2.xalter
9. Hardeberg Jon Y., Farup Ivar, Kolas Oyvind, and Stjernvang Gudmund. Color management in digital video: Color Correction in the Editing Phase, In Advances in Graphic Arts and Media Technology, Proceedings of 29th IARIGAI Research Conference, p. 166–179, Lucerne, Switzerland, September 2002.



ЛАЗЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ОТОБРАЖЕНИЯ 3D-КОНТЕНТА ВЫСОКОЙ ЧЁТКОСТИ



С.Б. Бирючинский, к.ф.-м.н., СПбГУИТМО

Аннотация

Рассмотрены основные направления развития систем отображения 3D-контента с развёрткой изображения лазерными пучками. Показаны различные методы развёртки изображения на экране. Приведены некоторые авторские разработки для формирования изображения.

Ключевые слова: лазер, микроэлектромеханическая система, объектив, проекционный дисплей, стереоизображение.

■ Существующие системы использования лазерных источников света

Идея использования лазеров в качестве источника света в проекционных системах зародилась ещё в 60-х годах прошлого века. В 1966 году компания Texas Instruments опубликовала доклад с названием «Experimental Laser Display for Large Screen Presentation», в котором рассказывалось о возможности замены традиционных ламп лазерами и о преимуществах такого решения. Основным преимуществом лазерных систем отображения являются:

- самый широкий охват цветового пространства из существующих телевизионных систем (рис. 1);
- возможность применения систем развёртки с масштабированием разрешения изображения;
- потенциально более высокая освещённость экрана;
- пониженное энергопотребление и массогабаритные характеристики.

Высокая пространственная когерентность лазерного излучения позволяет эффективно реализовывать различные методики 3D визуализации.

Первый патент о применении лазеров в проекторах был оформлен TI в 1969 г. Основной проблемой, сдер-

LASER SYSTEMS OF HIGH DEFINITION 3D-CONTENT

S. Biryuchinskiy

Abstract

The basic directions of development of systems of display 3D a content with image development by laser beams are considered. Various methods of development of the image on the screen are shown. Some author's workings out for image formation are resulted.

Keywords: laser, MEMS, objective, projection display, stereoimage.

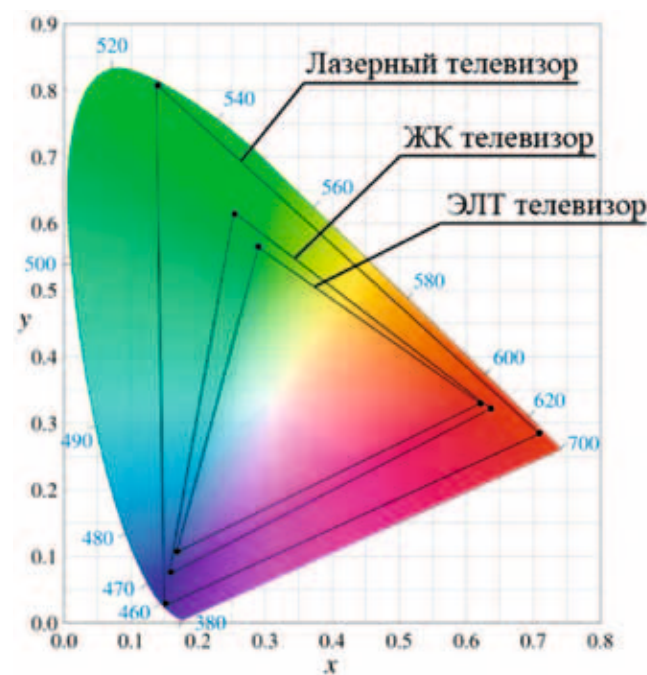


Рис. 1. Сравнение диапазонов воспроизводимых цветов дисплеев на диаграмме CIE

живающей широкое применение лазеров в системах отображения телевизионного сигнала, являлось отсутствие приемлемых по стоимости, габаритам и КПД лазерных источников. Только с появлением RGB лазеров на полупроводниковой основе стало возможным развитие лазерного телевидения в области отображения 3D-контента высокой чёткости.

Первая полупроводниковая лазерная платформа была представлена в 2006 г. (Necsel), и на её основе были построены твёрдотельные источники света для использования в проекционных системах (рис. 2). Платформа разрабатывалась с 1998 года компанией Novalux, в настоящее время принадлежит компании Arasoq. Применяются следующие длины волн: 465 нм (B), 532 нм (G) и 621 нм (R). С точки зрения количества отображаемых цветов (рис. 1), длину волны синего лазера следует сократить, а красного – увеличить. Однако на практике в связи со снижением чувствительности глаза приходится повышать мощность лазеров, что приводит к неэффективности всей системы в целом. Другая проблема – существенное искажение цветов для сигналов, не оптимизированных для отображения конкретными длинами волн.



Рис. 2. Лазерная платформа Necsel

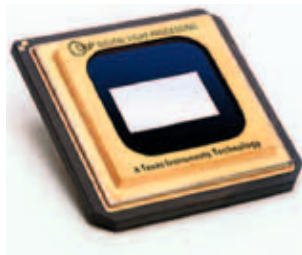


Рис. 3. Цифровое микрозеркальное устройство (DMD)

В настоящее время одной из лучших платформ для лазерного телевидения является разработка фирмы QPC Lasers Inc. Платформа «BrightLase Ultra-50 RGB» генерирует излучение 457 нм, 532 нм и 640 нм мощностью, соответственно, 3 Вт, 3 Вт и 6 Вт. Конструктивно платформа выполнена с интегрированным термоэлектрическим холодильником и системой стабилизации длины волны генерируемого излучения, что позволяет её применять совместно с дифракционными модуляторами и системами развёртки.

Модуляция лазерного пучка может осуществляться с помощью пространственных модуляторов света. Наиболее распространёнными разработками являются микрозеркальные системы. Лежащая в основе любого DLP-проектора технология цифровой обработки света (DLP) базируется на разработках корпорации Texas Instruments, создавшей новый тип формирователя изображения – цифровое микрозеркальное устройство DMD (Digital Micromirror Device). DMD-формирователь (рис. 3) представляет собой кремниевую пластину, на поверхности которой размещены управляемые микрозеркала.

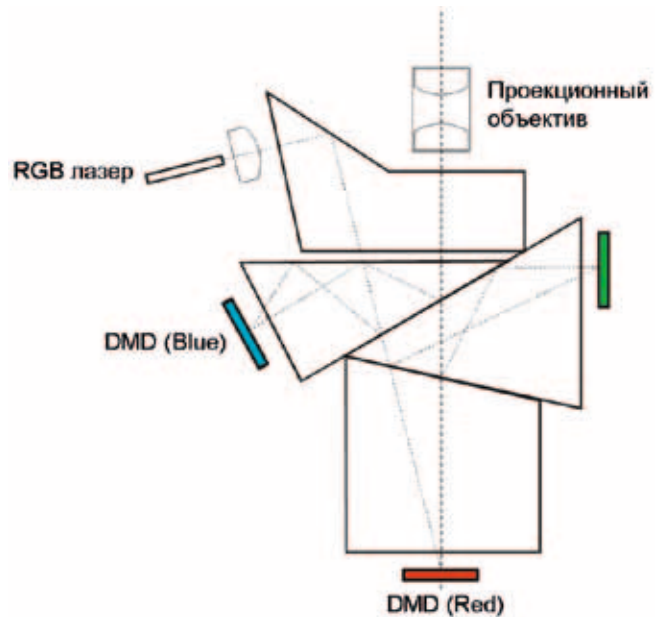


Рис. 4. Лазерный цифровой проектор на базе микрозеркальных матриц

Количество микрозеркал определяет количество пикселей на экране и в настоящее время может составлять несколько миллионов. Используемый в них принцип формирования полутонов (а также полноцветного изображения в устройствах с одной DMD-матрицей) основывается на свойстве человеческого глаза усреднять визуальную информацию за короткий промежуток времени и требует применения сложных алгоритмов пересчёта входных данных в управляющие микрозеркала ШИМ-последовательности (сигналы с широтно-импульсной модуляцией). Качество алгоритмов во многом определяет достигаемую точность цветопередачи. Основное преимущество DMD по сравнению с формирователями иного типа заключается в высокой световой эффективности, обусловленной двумя факторами: более эффективным использованием рабочей поверхности формирователя (коэффициент использования до 90%) и высоким коэффициентом отражения микрозеркал. Лазерные DLP-проекторы строятся по схеме с одним (малогабаритные системы с пониженным разрешением) или тремя DMD-кристаллами (рис. 4, 9) [1].

Модуляция излучения лазера может осуществляться также микромеханическими дифракционными решётками (GLV). GLV – это микроэлектромеханическая система (MEMS), первоначально созданная для управления развёрткой телевизоров высокой чёткости (HD-TV). По сути, это управляемая дифракционная решётка с 1080 штрихами. На рис. 5 показана схема GLV фирмы Silicon Light Machines. Конструктивно она представляет собой линейку алюминиевых полосок шириной 3 мкм, длиной 100 мкм и толщиной 0,1 мкм. Зазор между полосками – около 0,5 мкм. Снизу полоска покрыта слоем нитрида кремния толщиной 1 мкм. Полоски расположены на микрочипе, который с помощью электростатического

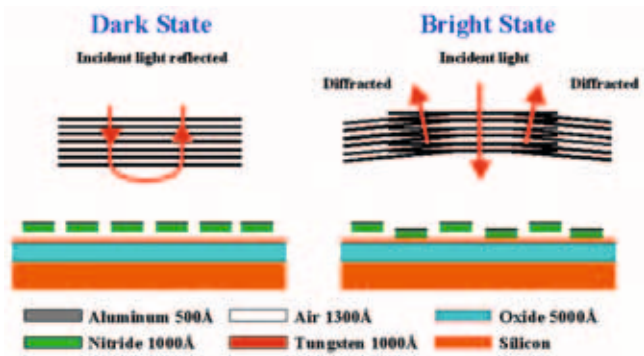


Рис. 5. Управляемая дифракционная решётка (GLV)

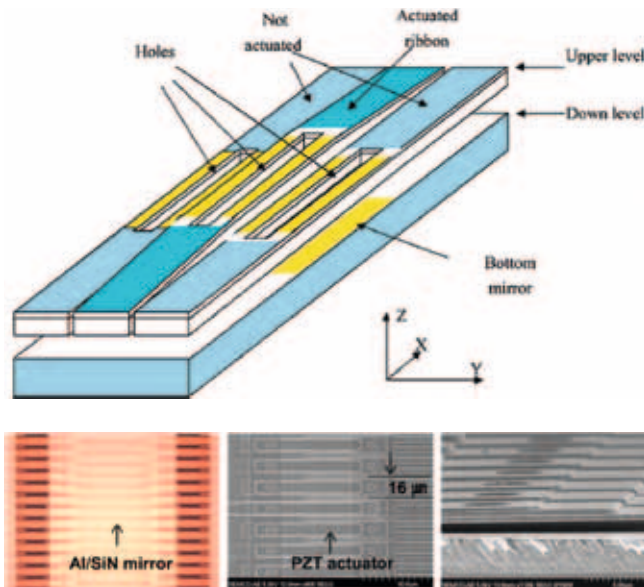


Рис. 6. Пространственный оптический модулятор (SOM)

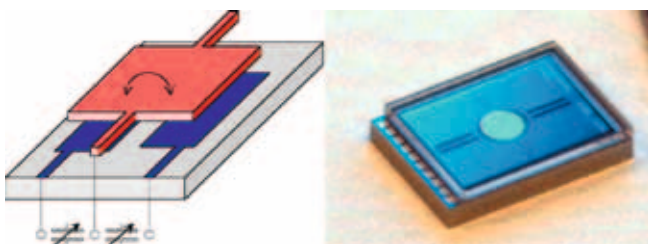


Рис. 7. Микроэлектромеханическая система (MEMS)

поля управляет каждой из них в отдельности (полоска или приближается к плоскости чипа, или удаляется под действием деформированного кремния). Скорость переключения из одного состояния в другое – около 20 нс.

На рис. 6 показана схема пространственного оптического модулятора фирмы Samsung Electro-Mechanics. Устройство представляет собой отражательную дифракционную структуру из гибких микрзеркал, которая формируется в массив 1D будущих пикселей [3]. Деформация гибкой структуры производится пьезоэлектрическим способом. Изображение 1D пиксельного массива проецируется на экран оптической системой и сканируется электромеханическим зеркалом.

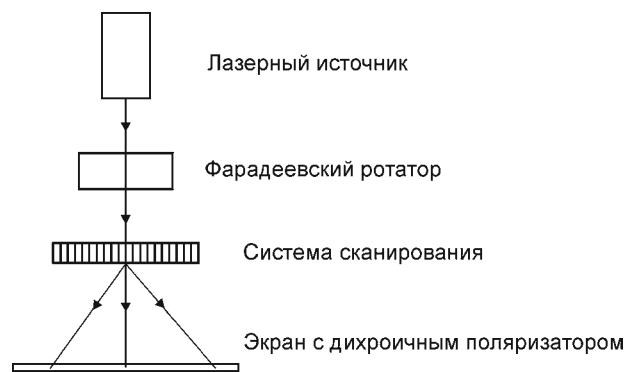


Рис. 8. Система формирования стереоизображения на базе фарадеевского ротатора



Рис. 9. Варианты компоновки лазерного проекционного телевизора на базе DLP технологии (Silicon Optix)

В качестве систем развёртки, как правило, используются различные варианты микроэлектромеханических систем (MEMS, рис. 7). Учитывая ограниченную скорость сканирования MEMS для отображения сигналов высокой чёткости, применяются только 1D системы. Развёртка изображения также возможна и с помощью управляемых дифракционных решёток. Сочетание 1D пространственного модулятора и 1D системы развёртки позволяет построить систему с изменяемым соотношением сторон экрана от 1:1 до 2,35:1 без заметного ухудшения качества картинки. Таким образом, при необходимости можно достичь максимального эффекта восприятия трёхмерного изображения. Применение анаморфотной оптики для просмотра анаморфированных изображений в данном случае не требуется.

Основная часть

Для формирования стереоизображения по принципу разделения поляризации автором предложена схема с магнитооптическим фарадеевским ротатором (рис. 8).

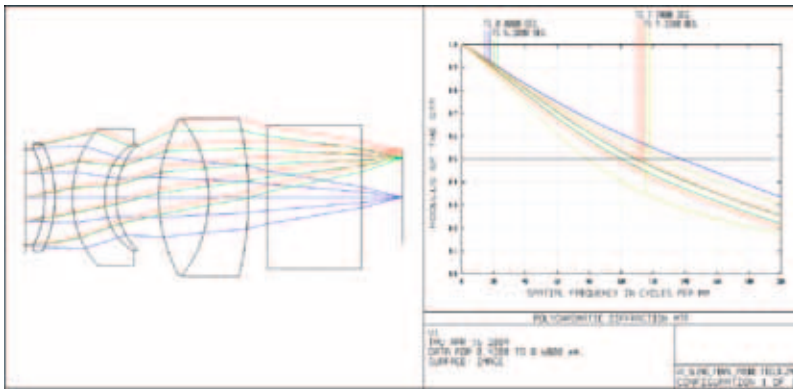


Рис. 10. Варианты компоновки лазерного проекционного телевизора на базе DLP технологии (Silicon Optix)

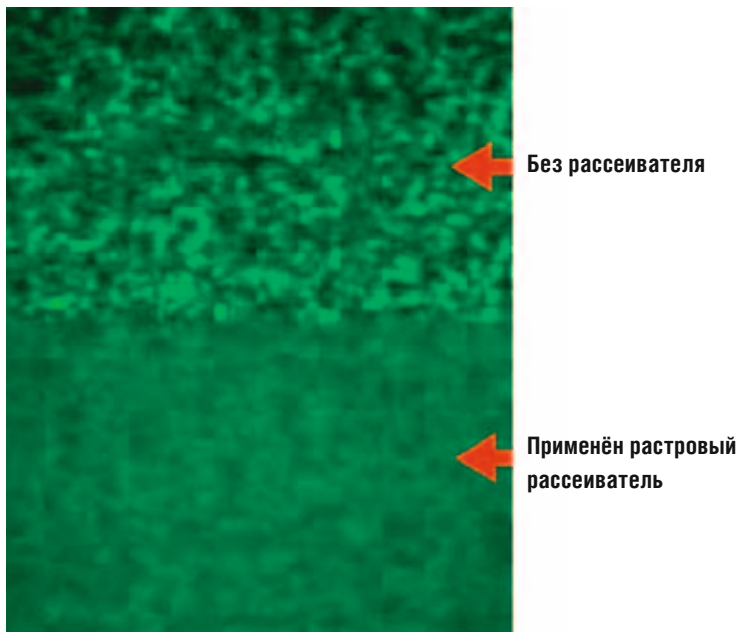


Рис. 11. Спекл-структура изображения

В этой схеме модулирующим устройством является сочетание фарадеевского ротатора и поляризатора на экране (в случае лазерного проектора поляризатор располагается перед проекционным объективом). Модуляция осуществляется поворотом поляризации излучения лазерного источника в фарадеевском ротаторе. По габаритам архитектура данной системы сходна с разработкой фирмы Silicon Optix (рис. 9). Специально для этой системы был разработан проекционный объектив (рис. 10) с качеством изображения, близким к дифракционному (относительное отверстие 1:4). Конструктивными особенностями предлагаемого проекционного объектива являются высокое качество изображения при отсутствии асферических компонентов. Юстировка объектива проводится первым склеенным компонентом. От известных аналогов подобный метод проекции отличается наличием специально введенных aberrаций в оптическую систему источников лазерного излучения с последующей её коррекцией объективом. Это позволяет не только от-

казаться от асферических компонентов, но и контролировать профиль пучка нужным образом. Дальнейшее развитие этой системы в сочетании с растровыми экранами предполагает переход к безочковым методам просмотра изображения. В этом случае экран дополнительно содержит микропризмные элементы, расположенные под разными углами (в зависимости от требуемого числа ракурсов изображения).

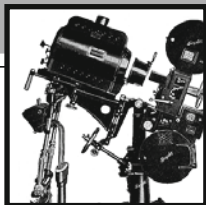
Одно из серьезных препятствий, ограничивающих качество отображаемого изображения, связано с спекл-структурой, которая возникает при рассеянии лазерного излучения. Существует несколько способов подавления спекл-структуры [2,3]. Наиболее очевидный способ – уменьшение длины когерентности лазеров (особенно для зеленого канала), однако чрезмерное ухудшение монохроматичности излучения приведет к неработоспособности дифракционных методов модуляции и сканирования. Другой способ состоит в применении специальных экранов, сочетающих в себе как поверхностные, так и объемные элементы заданной структуры (рис. 11).

Заключение

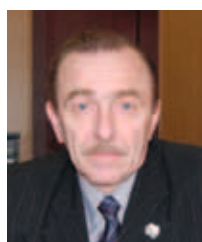
Многими аналитиками отмечается, что идея лазерного телевидения опередила свое время. Это связано с недостатками располагаемой элементной базы и со специфическими особенностями лазерного излучения. Тем не менее, в ближайшем будущем ожидается широкое применение подобных систем, как для кинотеатральных проекторов, так и для телевизоров с обратной проекцией. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Guang Zheng, B. Wang, T. Fang, H. Cheng, Y. Qi, Y.W. Wang, B. X. Yan, Y. Bi, Y. Wang, S.W. Chu, T. J. Wu, J. K. Xu, H. T. Min, S. P. Yan, C. W. Ye, and Z D. Jia. Laser Digital Cinema Projector, JOURNAL OF DISPLAY TECHNOLOGY / VOL. 4, NO. 3, SEPTEMBER 2008.
2. Lingli Wang, Theo Tschudi, Thorsteinn Halldórsson, and Pálmir R. Peitursson. Speckle reduction in laser projection systems by diffractive optical elements, APPLIED OPTICS / Vol. 37, No. 10/1, April 1998.
3. Yurlov V., Lapchuk A., Yun Sangkyeong, Song Jonghyeong, and Yang. Haengseok. Speckle suppression in scanning laser display, APPLIED OPTICS / Vol. 47, No. 2/10, January 2008.
4. Yun Sangkyeong, Song Jonghyeong, et al. A novel diffractive micro-optical modulator for mobile display applications PROC OF SPIE/ Vol.6887, 688702, 2008.



АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ к характеристикам, определяющим качество изображения и звука средств мультимедиа



Е.И. Нестерова, д.т.н., В.С. Якимович, д.т.н., Г.М. Луговой,
к.т.н., СПбГУКиТ

Аннотация

В основе квалиметрии разнообразных технических средств медиаиндустрии, установления требований к этим средствам лежат методы оценки дифференциальной чувствительности к характеристикам изображения и звука, определяющим интегральное восприятие этих характеристик зрителем-слушателем. В свою очередь, сенсорная чувствительность к частным характеристикам может быть количественно определена коэффициентом чувствительности. При этом для оценки коэффициента необходимо разработать детальный алгоритм экспертизы, включающий моделирование значений характеристик и оценку заметности возникающих изменений.

Приведён обобщённый алгоритм субъективной квалиметрической экспертизы по оценке коэффициента чувствительности к частной характеристике, который может быть использован как для оценки качества изображения, так и звука. Приведён пример реализации алгоритма оценки дифференциальной чувствительности на примере оценки коэффициента чувствительности к характеристикам, определяющим интегральное качество видеоизображения.

Ключевые слова: квалиметрия, качество изображения и звука, алгоритм оценки дифференциальной чувствительности, средства мультимедиа.

ALGORITHM FOR ESTIMATING THE DIFFERENTIAL SENSITIVITY TO THE CHARACTERISTICS THAT DEFINE THE QUALITY OF PICTURE AND SOUND CREATED BY MULTIMEDIA TECHNIQUE

E. Nesterova, V. Yakimovich, G. Lugovoy

Abstract

At the heart of a multimedia technique qualimetry, determination requirements for their facilities are methods for determining the differential sensitivity to the characteristics of image and sound, that define the integral quality of picture and sound created by multimedia technique and the perception of these characteristics of the viewer-listener. The sensitivity to individual characteristics can be quantified by the sensitivity factor. To estimate the factor is necessary to work out a detailed algorithm of the expertise, including the modeling and evaluation the visibility of changes.

Here we present a generic algorithm for estimating the differential sensitivity to the characteristics that define the quality of picture and sound created by multimedia technique. As an example the algorithm for evaluation of the sensitivity factors to the characteristics that define the integral video images quality is worked in details.

Keywords: qualimetry, quality of picture and sound, algorithm for estimating the differential sensitivity, multimedia technique.

■ В основе квалиметрии разнообразных технических средств медиаиндустрии, установления требований к этим средствам лежат методы оценки дифференциальной чувствительности к характеристикам изображения и звука, определяющим интегральное восприятие этих характеристик зрителем-слушателем.

В свою очередь, дифференциальная чувствительность к частным характеристикам изображения или звука может быть количественно определена коэффициентом чувствительности [1]. При этом для оценки коэффициента в конкретных условиях использования мультимедийного средства необходимо разработать детальный алгоритм экспертизы, включающий моделирование значений характеристик и оценку заметности возникающих изменений.

Вне зависимости от того, к характеристикам изображения или звука определяется дифференциальная чувствительность, *алгоритм субъективной квалиметрической экспертизы по оценке коэффициента чувствительности к частной характеристике*, в общем случае, включает определённые этапы. Отличие заключается лишь в способах реализации каждого отдельного этапа.

1. Разработка иерархической структуры характеристик, определяющих интегральное восприятие качества изображения и звука, обеспечиваемого средствами мультимедиа, и формирование перечня частных характеристик. Иерархическая структура может включать 2–3 уровня, количество уровней определяется необходимостью включения в нижний уровень таких характеристик, величины которых однозначно определяются физико-техническими параметрами или программными настройками.

2. Выбор объектов, используемых в экспертизе. Для каждой частной характеристики необходимо выбрать два объекта: сюжет (фрагмент), характерный для обычных условий использования мультимедийного средства, и тест-объект, на котором по возможности эксперт может воспринимать только оцениваемую частную характеристику. Например, при определении коэффициента чувствительности к яркости изображения тест-объектом является белое поле, к чёткости – штриховая мира, к геометрическим искажениям – правильные геометрические фигуры и т. п.

3. Выбор метода моделирования величины оцениваемой характеристики. Для моделирования значений частных характеристик может быть использована любая программная среда или техническая юстировка. Единственное условие – наличие шкалы, по которой может быть количественно определено вносимое изменение. Это необходимо для того, чтобы при проведении экспертизы можно было воспроизвести диапазон изменения характеристики для рабочих условий мультимедийного средства, а также для обеспечения воспроизводимости

и сопоставимости результатов экспертиз, проводимых для исследования изменения чувствительности под влиянием различных факторов.

4. Определение условий проведения экспертизы:

- обоснование количества экспертов, участвующих в экспертизе, и их квалификации, определение необходимого объёма экспериментальной выборки;

- разработка информационного обеспечения (анкет, правил их заполнения, тестовых презентаций), позволяющего оперативно получать необходимый объём экспериментальных данных;

- определение влияющих на чувствительность факторов, т. е. определение перечня экспертиз, необходимых для исследования влияния на коэффициент чувствительности таких факторов, как величина вносимого изменения, эталонный уровень характеристики, различные сочетания факторов, которые могут иметь место в реальных условиях использования мультимедийного средства.

5. Установление соответствия между условной моделирующей шкалой и физической величиной характеристики. Объективная (физическая) величина характеристики может быть определена либо с использованием измерительных приборов, либо с помощью тестовых средств (тест-фильмов, тест-таблиц, тест-фрагментов). Полученная зависимость должна позволять установить диапазон изменения объективной величины, соответствующий определённому значению на условной шкале, т. е. учитывать погрешности измерения или оценки.

6. Субъективная экспертиза по оценке заметности изменения характеристики на тест-объекте. В основе экспертизы лежат элементы теории обнаружения сигнала*.

* Несмотря на то, что методы и инструменты теории обнаружения изначально были предназначены для анализа технических систем, в настоящее время отдельные элементы теории широко применяются для сенсорных систем. При этом алгоритмы решения практических задач становятся всё более сложными и неоднозначными, позволяют получать всё более разнообразные результаты. Отличие сенсорных систем от устройств приёма и обнаружения сигналов, конечно, требует принятия определённых правил и допущений:

- подтверждением существования собственного шума в сенсорной системе является варибельность результатов психофизических экспертиз, которая была обнаружена, в частности, при экспериментальном определении пороговых значений характеристик в течение ряда десятилетий [4];

- пренебрежение собственным шумом сенсорной системы при оценке абсолютной или дифференциальной чувствительности может привести к некорректным результатам;

- строгая количественная оценка собственного шума в сенсорной системе – одна из сложнейших нейрофизиологических, психофизических задач, причём ни для одного из анализаторов пока, к сожалению, не получено в этой области окончательных и однозначных результатов оценки этого шума. Так, в соответствии с одной из общепринятых теорий, объясняющих наличие собственного шума в сенсорной системе, нейронная система включает такие подсистемы, как: рецепторы (преобразующие сигнал

Результатами экспертизы являются ответы экспертов о заметности (Y) или незаметности (N) изменений (ухудшений или улучшений) оцениваемой характеристики. Экспертам в последовательности, соответствующей последовательности случайных чисел, предъявляют объекты с изменённой характеристикой (количество предъявлений – n_s) и без изменения (количество предъявлений n_n). Как показывает опыт проведения аналогичных экспертиз, более точные результаты можно получить, когда эксперты при оценке коэффициентов чувствительности к частным характеристикам изображения имеют возможность наблюдать на экране (мониторе) одновременно два изображения, причём одно остаётся неизменным при проведении экспертизы (эталонным), а во второе изображение вносятся или не вносятся изменения. При оценке чувствительности к характеристикам звука могут быть использованы эталоны по памяти, воспроизводимые, например, акустическими системами, попеременно подключаемыми ручным или автоматическим коммутатором к выходу одного и того же звукового тракта [2].

7. Определение меры обнаружения d сигнала для тест-объекта. Под сигналом в данной экспертизе подразумевается изменение анализируемой частной характеристики тест-объекта. По результатам экспертизы (п. 6) рассчитываются вероятность правильного обнаружения $P(Y/s) \approx \frac{m_{Ys}}{n_s + n_n}$ (m_{Ys} – число положительных ответов при внесении ухудшения) и вероятность ложных тревог $P(Y/T) \approx \frac{m_{Yn}}{n_s + n_n}$ (m_{Yn} – число положительных ответов при отсутствии изменения яркости). По соотношению рассчитанных вероятностей определяется мера обнаружения d по таблицам, которые широко используются в различных прикладных задачах теории обнаружения сигнала, в статистической теории принятия решений. Мера обнаруже-

в последовательность импульсов), нейронные цепочки (преобразующие эти импульсы) и элементы, ответственные за принятие решения. Преобразования в каждой из перечисленных подсистем предполагают возникновение погрешностей, причём, как правило, наиболее значительным собственным шумом обладают сложные нейронные цепочки, следующие непосредственно за рецептором;

– источниками собственных шумов такой сенсорной системы, как зрительный анализатор, являются, в частности: спонтанное разложение зрительного пигмента, флуктуации стимула, связанные с квантовой природой света, собственный шум нейронов;

– собственный шум сенсорной системы при субъективных психофизических экспертизах, в частности, при оценке дифференциальной чувствительности к частным характеристикам, может быть косвенно учтён при определении характеристик, влияющих на принятие решения об обнаружении: вероятностей (относительных частот) появления правильных и ложных ответов экспертов о заметности сигнала;

– при оценке меры различимости d' введено допущение о равенстве дисперсий субъективных оценок сигнала и шума, поскольку, как правило, эти дисперсии определяются при равноточных экспертизах. При необходимости возможно внесение уточнения в формулу для расчёта этого параметра.

ния также может быть определена из выражения $d = \frac{M_s - M_n}{\sigma}$ как степень расхождения вероятностей правильного обнаружения и ложных тревог, где M_s, M_n – средние арифметические значения субъективных оценок характеристик, определяемые при различных условиях эксперимента;

$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{q} - q_i)^2}$ – среднеквадратическое отклонение субъективных оценок анализируемой характеристики, где

$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$ – среднее арифметическое значение субъективной оценки обобщённой i -й характеристики; n – количество ответов экспертов.

8. Экспериментальная оценка заметности изменения характеристики при предъявлении сюжета или фрагмента. Процедура аналогична экспериментальной оценке заметности изменения характеристики на тест-объекте. Основное требование к организации экспертизы – величина изменения анализируемой характеристики должна быть такой же, как и при экспертизе, описанной выше в п.6.

9. Определение меры обнаружения d_{Σ} сигнала для сюжета (под сигналом в данной экспертизе подразумевается изменение анализируемой частной характеристики для сюжета). По результатам экспертизы (п.8) рассчитываются вероятность правильного обнаружения $P(Y/s) \approx \frac{m_{Ys}}{n_s + n_n}$ (m_{Ys} – число положительных ответов при внесении ухудшения в сюжет) и вероятность ложных тревог $P(Y/T) \approx \frac{m_{Yn}}{n_s + n_n}$ (m_{Yn} – число положительных ответов при отсутствии изменения яркости сюжета). По соотношению рассчитанных вероятностей определялась мера обнаружения d_{Σ} по таблицам.

10. Расчёт коэффициента чувствительности к частной характеристике, определяющей интегральное качество изображения, обеспечиваемого мультимедийным средством. Коэффициент чувствительности определяется отношением $k = d_{\Sigma} / d$, где d, d_{Σ} – меры обнаружения, зависящие от вероятностей правильного обнаружения и ложных тревог для тест-объекта и сюжета (фрагмента) при одинаковом моделирующем воздействии.

Реализация алгоритма оценки дифференциальной чувствительности на примере оценки коэффициента чувствительности к характеристикам, определяющим интегральное качество видеоизображения

Алгоритм был апробирован для оценки коэффициентов чувствительности к частным характеристикам видео-

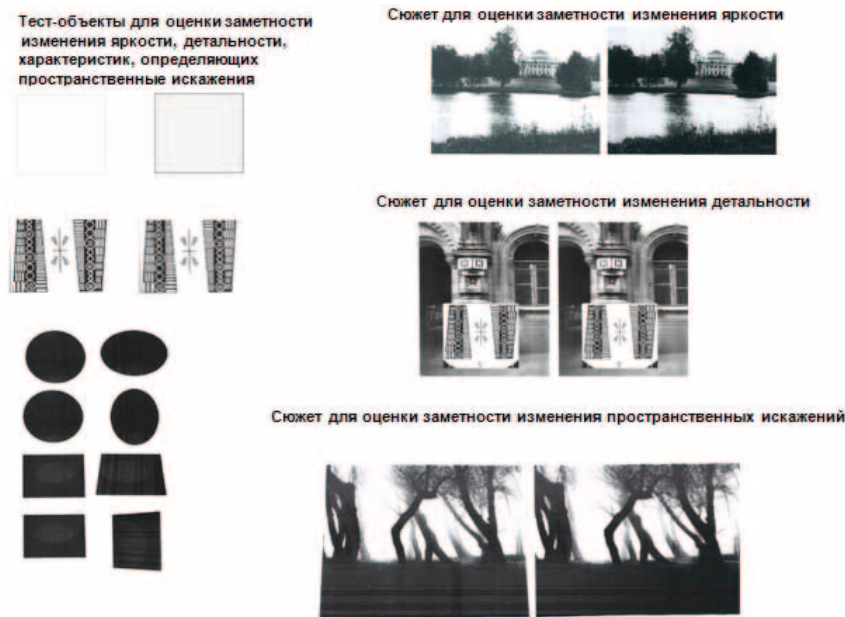


Рис. 1. Тест-объекты и сюжеты, используемые при проведении психофизических квалитметрических экспертиз

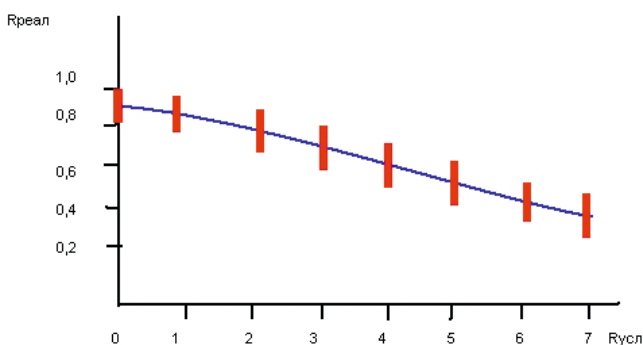


Рис. 2. Соответствие между условными значениями моделирующей шкалы ($R_{усл}$) в выбранной программной среде и величиной детальности ($R_{реал}$, мм⁻¹) изображения

изображения: яркости, детальности и характеристикам, определяющим геометрическое подобие элементов киноизображения [3]. Оценка этих коэффициентов является необходимым этапом для решения задач сравнительного анализа выходных характеристик видеопрокторов, задач сертификации данного вида мультимедийных устройств. Для моделирования значений частных характеристик изображения могут быть использованы такие программные среды, как CorelDRAW, Adobe Photoshop, Autodesk 3ds Max и т.п.

Используемые при проведении психофизических квалитметрических экспертиз изображения показаны на рис. 1, пример зависимости между значениями моделирующей шкалы в программной среде и величиной детальности изображения приведён на рис. 2, а полученные результаты приведены на рис. 3. Как видно из полученных результатов, коэффициент чувствитель-

ности к интегральной яркости лежит в интервале $k_y = 0,7...0,9$, а коэффициент чувствительности к геометрическим искажениям $k_{ис} = 0,5...0,6$, т.е. изменение коэффициентов соизмеримо с доверительным интервалом, в котором лежат субъективные оценки. Коэффициент чувствительности к детальности значительно зависит от условий восприятия изображения, его необходимо определять для каждого конкретного зала.

Возможные области применения предложенного алгоритма

В настоящее время фирмами-производителями представлен чрезвычайно широкий спектр разнообразных мультимедийных средств и технологий, поэтому при реализации различных мультимедийных проектов, при формировании элементной

структуры предприятий и организаций медиаиндустрии, при установке оборудования в той или иной форме возникает проблема, связанная с необходимостью выбора средств и технологий, отвечающих определённым требованиям или обеспечивающих наиболее высокий интегральный уровень качественных характеристик. Какой бы ни была оценочная интегральная модель, она должна учитывать, какой вес имеют в модели частные характеристики, определяющие интегральное качество. Решение этой задачи возможно методами психофизической и функциональной квалитметрии. Предложенный в работе алгоритм позволяет определить весомость дифференциальных характеристик, определяющих качество изображения или звука.

Технические термины, использованные в статье:

– *дифференциальная чувствительность* – важность, заметность для зрителя отдельных (частных) характеристик изображения или звука, определяющих их интегральное восприятие зрителем-слушателем;

– *коэффициент чувствительности* – коэффициент, количественно определяющий важность для зрителя той или иной частной характеристики изображения или звука;

– *квалитметрическая экспертиза* – экспериментальная психофизическая (сенсорная) или функциональная (интеллектуальная, логическая) субъективная оценка характеристик; при оценке характеристик изображения или звука используются психофизические экспертизы, результатами которых являются оценки ощущений, возникающих в зрительном и слуховом анализаторах;

– *мера обнаружения* – статистический параметр, определяющий степень расхождения вероятностей правильного обнаружения и ложных тревог. ■

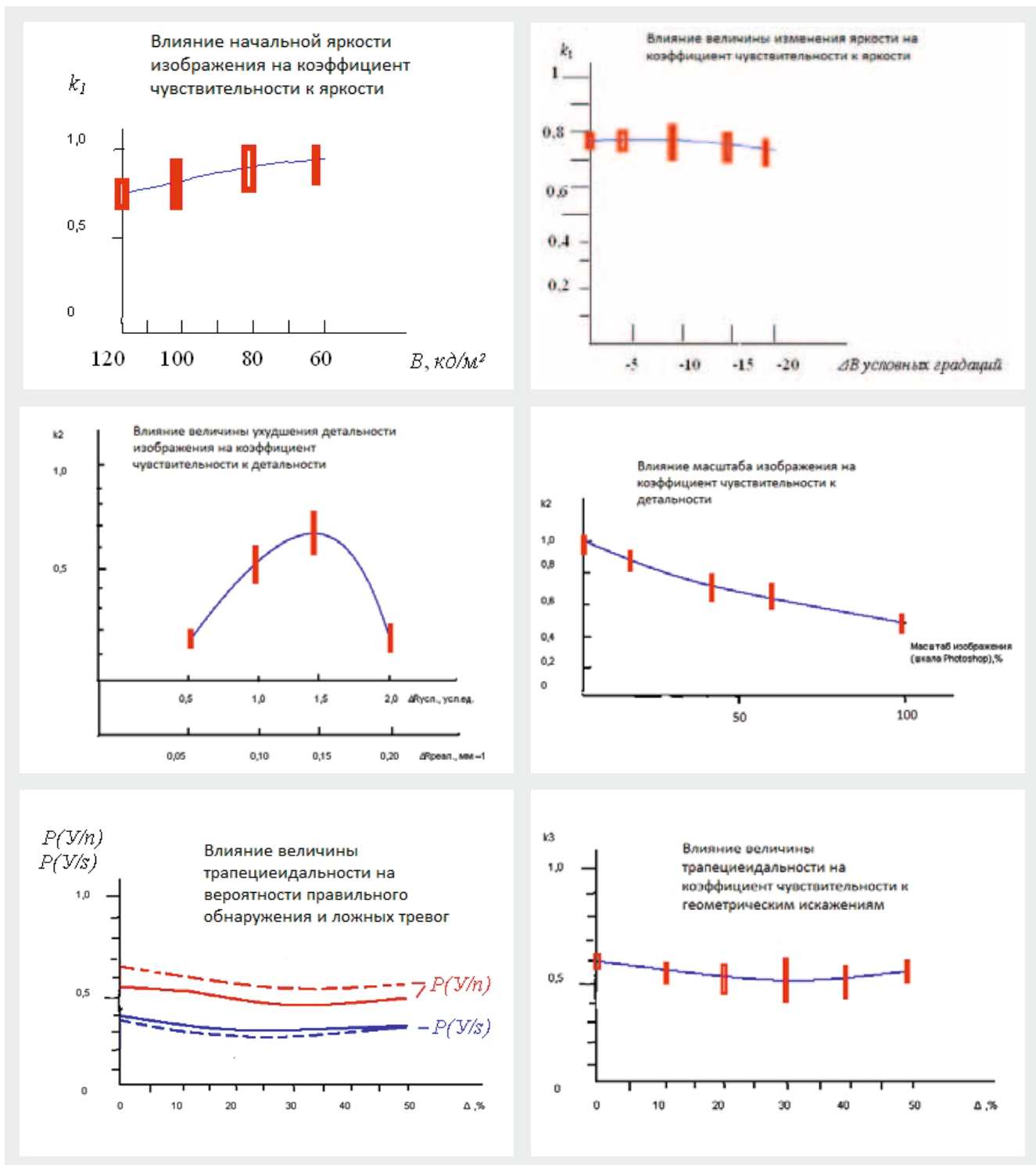


Рис. 3. Результаты оценки коэффициентов чувствительности к частным характеристикам видеоизображения

ЛИТЕРАТУРА

1. Нестерова Е.И. Квалиметрия и техническое регулирование в кинематографии. СПб.: Политехника, с. 183, 2010.
2. Свобода Д. Оценка качества звучания речи и музыки. // Научно-технический журнал «Звукорежиссёр», № 1, 2007.
3. Нестерова Е.И. Методика оценки коэффициентов чувствительности к частным параметрам, определяющим качество изображения. Вестник Тамбовского государственного технического университета, №4, с. 1290–1295, 2006.
4. Леонов Ю.П. Теория статистических решений и психофизика / М.: Наука, с. 223, 1977.



ПРИМЕНЕНИЕ ИОНООБМЕННОЙ ДИФФУЗИИ для получения микролинз оптических систем кино-, фото- и видеоаппаратуры



О.В. Денисова, к.х.н., К.Г. Карапетян, к.х.н.,
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», СПб

Аннотация

Исследованы процессы формирования микролинз в фоточувствительных стёклах. Ряд последовательных операций с образцами фоточувствительных стёкол: облучение, фотолитография, вторичные термообработки, ионный обмен позволяет сформировать на поверхности стекла выпуклые или вогнутые поверхности. На основе использования данного эффекта разработана технология получения растровых микролинз, применяемых для различных оптических приборов, кино-, фото- и видеоаппаратуры.

Ключевые слова: микролинзы, фоточувствительные стёкла, ионообменные процессы.

APPLICATION ION EXCHANGE DIFFUSION FOR PRODUCTION MICROLENSSES OPTICAL SYSTEMS FILM, PHOTO AND VIDEO

O. Denisova, K. Karapetyan

Abstract

The formations of microlenses in photosensitive glasses were investigated. Series of consecutive operations with samples of photosensitive glass: irradiation, photolithography, the secondary heat treatment, ion exchange can form on the surface of the glass convex or concave surfaces. Based on this effect, the technology for production scanning microlenses used for various optical devices, film, photography and videoapparatury.

Keywords: microlenses, photosensitive glass, ion exchange processes.

■ Современные методы ионообменной технологии позволяют получать стеклообразные материалы с заранее заданными свойствами [1, 2]. Стёкла и стекло-

образные материалы относятся к одним из наиболее сложных и интересных объектов исследования вследствие большого разнообразия процессов, протекающих

Табл. 1. Составы фоточувствительных стёкол

Состав	Содержание компонентов, мол %						
		Силикатные стёкла					Германатное стекло
		1	2	3	4	5	
SiO ₂	70-80	71,7	71,7	71,7	71,7	71,7	-
GeO ₂	-	-	-	-	-	-	70
Li ₂ O	12-20	19,82	12,18	19,36	19,39	24,36	20
Na ₂ O	1-2	1,07	12,18	5,0	-	-	-
K ₂ O	2-4	3,47	-	-	5,0	-	-
Al ₂ O ₃	1-3	2,98	2,98	2,98	2,98	2,98	-
Ga ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	10
ZnO	0-2	0,79	0,79	0,79	0,79	0,79	-
Ag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-
CeO ₂	0,05	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	-
Sb ₂ O ₃	0,05	0,058	0,058	0,058	0,058	0,058	-

в них при синтезе, кристаллизации, вторичных термообработках, действии излучения, процессах ионного обмена. Активированные стёкла в настоящее время представляют наибольший интерес для практического использования в области растровой, волоконной и интегральной оптики [3].

Задачей данного исследования являлось получение собирающих и рассеивающих свет микролинз для оптических систем, применяемых в кино-, фото- и видеоаппаратуре. Для получения объёмных изображений, цветных голограмм и голографических изображений, а также для демонстрации 3D-изображений требуются специальные объективы кино- и фотокамер. Такие объективы должны состоять из множества микролинз, каждая микролинза формирует изображение объекта под определённым углом зрения. Массив микролинз объектива имитирует устройство фасеточного глаза насекомых и позволяет получать качественные трёхмерные изображения [4, 5].

Для этих целей синтезированы и исследованы фоточувствительные стёкла различных составов (табл. 1). Оптимальным для получения микролинз, с точки зрения оптических свойств, оказался состав 1 на основе силикатного стекла, с которым и были продолжены исследования.

Последовательность операций, которая позволяет получать микролинзовые растры, показана на рис. 1. На первом этапе (рис. 1, а) проводится экспонирование пластины из фоточувствительного стекла толщиной 4–8 мм в поле коротковолнового излучения азотного лазера через фотошаблон. Последующая термообработка (второй этап) при температуре 873 К (рис. 1, б) вызывает кристаллизацию проэкспонированных областей и сопровождается выдавливанием прозрачных участков. При этом неэкспонированные области остаются прозрачными.

Разница в величинах плотностей закристаллизованных и незакристаллизованных областей приводит к возникновению напряжений сжатия и «вспучиванию» прозрачных областей над поверхностью стекла, сопровождающуюся формированием сферических сегментов вследствие сил поверхностного натяжения. Высота выпуклых участков над поверхностью не превышает 25 мкм при диаметре линз 300 мкм. Затем проводится сошлифовывание (рис. 1, в) выпуклых областей.

На третьем этапе проэкспонированное и закристаллизованное в соответствии с геометрией фотошаблона стекло подвергают ионообменной обработке в расплавах солей нитратов щелочных металлов. Вследствие изменения мольного объёма стекла незакристаллизованные цилиндрические области стекла оказываются выдавленными над поверхностями (рис. 1, г) или вдавленными внутрь (рис. 1, д), образуя выпуклые или вогнутые поверхности с обеих сторон стеклянной пластины.

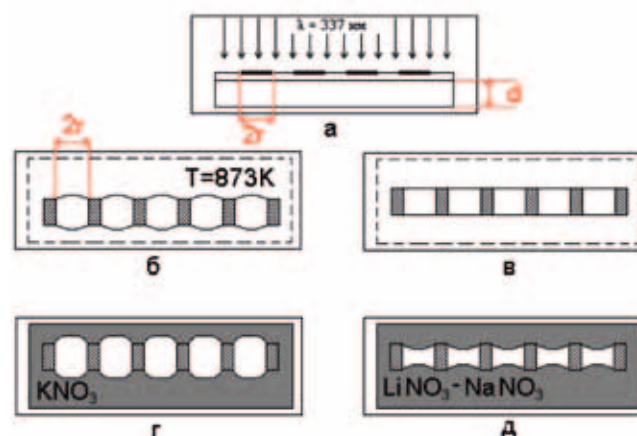


Рис. 1. Последовательность операций получения микролинз

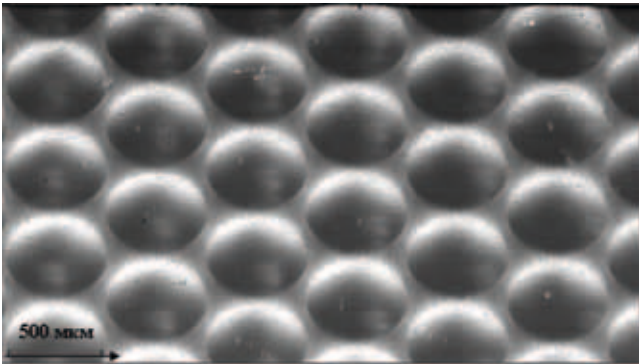


Рис. 2. Фотография образца микролинзового раstra. Диаметр линз 500 мкм, высота линз 38 мкм

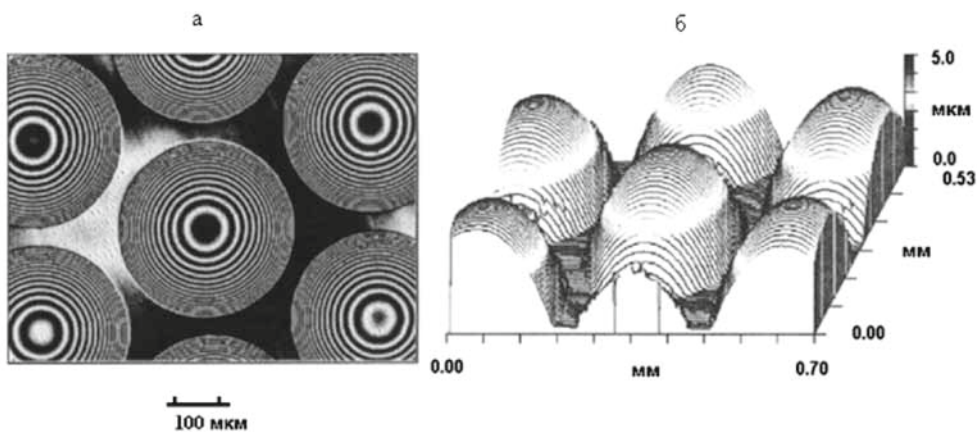


Рис. 3. Интерференционная картина поверхности образца микролинзового раstra: а - выполненная на интерферометре фирмы GELTECH Inc, США; б - компьютерная обработка интерференционной картины подложки микролинзового раstra: диаметр микролинз 310 мкм, высота 5 мкм

Для создания собирающих свет микролинз используются нитраты натрия или калия или их смеси. При этом выдавливание незакристаллизованных участков поверхности стекла происходит вследствие увеличения мольного объема при обмене Li^+ стекло \leftrightarrow Na^+ , K^+ расплав. В случае полной замены катионов Li^+ катионами Na^+ и K^+ можно ожидать увеличение мольного объема, соответственно, в 1,07 и 1,22. Рассеивающие свет микролинзы

были получены при использовании расплавов смеси солей натрия и лития.

На рис. 2 показан образец микролинзового раstra, для изготовления которого была использована пластина размером $30 \times 30 \times 4$ мм, подвергнутая экспонированию в поле излучения азотного лазера (ЛГИ-21) через фотошаблон с диаметром дисков 500 мкм. Вторичная термообработка и ионный обмен (расплав KNO_3 , $T=873$ К, длительность 2 часа), обеспечили формирование на поверхности пластины выпуклых сегментов высотой 38 ± 1 мкм (рис. 2).

Полученные микролинзы имеют фокусное расстояние $f \approx 2,47$ мм (возможная погрешность при оценке f составляет 0,03 мм).

На рис. 3 показана интерференционная картина поверхности образца с выпуклыми сегментами и его компьютерная обработка. Как видно, поверхность линзы можно аппроксимировать сферической поверхностью при условии, что высота сегмента много меньше радиуса кривизны.

Заключение

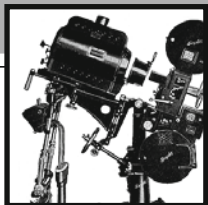
Разработана технология получения микролинз для оптических систем, представляющая собой совместное использование фотолитографии, вторичных термообработок и метода ионообменной

диффузии, которая позволяет практически реализовать свойства фоточувствительных силикатных стёкол.

Сочетание используемых методов позволяет успешно создавать на поверхности фоточувствительных стёкол объёмный рельеф заданного профиля и конфигурацию микролинз. В этом случае получаемый рельеф обеспечивает сохранение параметров изображения фотошаблона на материале подложки. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Шелби Дж. Структура, свойства и технология стекла. Пер с англ. М.: Мир, 288 с., 2006.
2. Бочарова Т.В., Карапетян К.Г. Микролинзовые растры и технология их изготовления. Оптический журнал, Т. 72, № 9, с. 91–95, 2005.
3. Бочарова Т.В., Власова А.И., Карапетян Г.О. и др. Физика и химия стекла, Т. 36, № 3, с. 352–363, 2010.
4. Ганжерли Н.М., Гуляев С.Н., Маурер И.А., Черных Д.Ф. Формирование рельефа микролинзовых растр на галоидосеребряных фотоэмульсиях. Доклад на 7-ой Международной Конференции «ГОЛОЭКСПО-2010» «Голография, Наука и практика», 28–30 сентября 2010.
5. Shaked NT, Rosen J., Stern A. Integral holography: white-light single-shot hologram acquisition. Opt Express, Apr 30; 15(9), p. 5754–5760, 2007.



ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОЙ СТЕРЕОСЪЁМКИ ПРИ КОНВЕРГИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ОСЯХ ОБЪЕКТИВОВ



О.Н. Раев, к.т.н., ФГУП «МКБК»

Аннотация

Разработана методика расчёта структурирования пространства объектов съёмки при цифровой стереосъёмке двумя киносъёмочными объективами, оптические оси которых конвергированы. Введено понятие опорной поверхности. Проанализированы искажения стереоизображения, возникающие в результате структурирования пространственных объектов съёмки.

Ключевые слова: искажения стереоизображения, объектный пиксель, опорные поверхности, стереоскопический кинематограф, стереосъёмка на конвергированных осях, цифровой кинематограф.

■ В предыдущих статьях [1, 2] подробно рассмотрена дискретизация глубины киноизображения при цифровой стереосъёмке двумя киносъёмочными аппаратами или одним киносъёмочным аппаратом, у которых оптические оси объективов параллельны.

Это один из вариантов проведения стереосъёмки. Другой, часто встречающийся, — это стереосъёмка двумя киносъёмочными аппаратами, у которых оптические оси объективов сходятся в некоторую точку на объекте съёмки. Таким образом фиксируется положение плоскости рамп и, соответственно, обеспечивается при кинопроекции размещение изображения данной точки объекта в плоскости экрана. Такой вариант стереосъёмки назы-

PECULIARITY OF DIGITAL STEREO SHOOTING WHEN CONVERGENCE AXES OF LENS

O. Raev

Abstract

The calculation method has been developed for structuring shooting objects space in digital stereo shooting with two cinematographic lenses, which optical axes are convergence. The concept of supporting surface has been introduced. Stereo image distortions, caused by structuring the shooting object space, have been analyzed.

Keywords: stereo image distortions, object pixel, supporting surface, stereoscopic cinematography, crossed-lens-axes photography, digital cinematography.

вается стереосъёмкой при конвергированных оптических осях объективов [3].

Рассмотрим особенности дискретизации глубины киноизображения при таком варианте цифровой стереосъёмки.

Дискретизация глубины стереоизображения при стереосъёмке с применением конвергирования оптических осей объективов

За основу анализа возьмём математическую методику, изложенную в [1].

Стереосъёмка, когда оптические оси объективов конвергированы, выполняется двумя цифровыми киносъём-

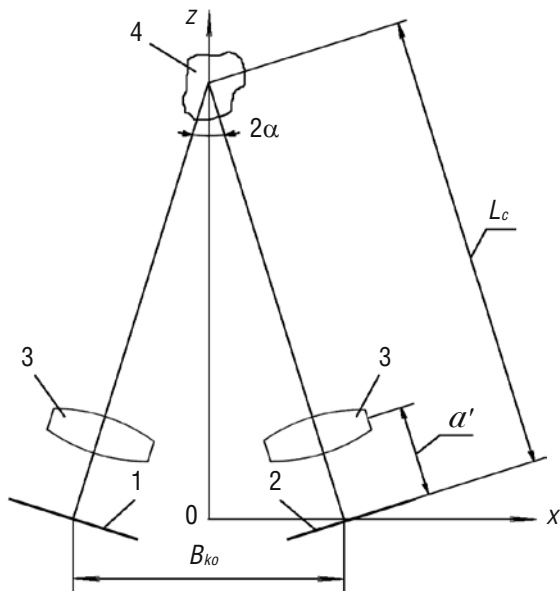


Рис. 1. Схема стереосъёмки при конвергированных оптических осях объективов: 1 – левая матрица, 2 – правая матрица, 3 – объективы, 4 – объект стереосъёмки

мочными аппаратами (рис. 1) или одним, который после съёмки каждого кадра перемещают в пространстве на величину базиса съёмки и поворачивают таким образом, чтобы ось объектива была направлена на ту же точку объекта съёмки, что и при первом кадре.

Обозначим базис съёмки – $B_{ко}$, угол конвергенции – 2α , расстояние до объекта, на который фокусируется объектив, – L_c .

Каждый объектив строит изображение объектов съёмки в плоскости соответствующего светочувствительного слоя матрицы. Предположим, что объективы и матрицы идентичны по всем оптическим и геометрическим характеристикам, иначе изображения в левом и правом ракурсах будут различаться не только по величине горизонтального параллакса.

Поскольку стереоэффект создаётся горизонтальным параллаксом, рассмотрим горизонтальную плоскость, проходящую через оптические оси объективов. Используем прямоугольную систему координат с началом координат в центре отрезка $B_{ко}$ (т.е. в середине расстояния между центрами светочувствительных матриц), с осью x , направленной вдоль отрезка $B_{ко}$ в сторону правой матрицы, и осью z , направленной в сторону объектов съёмки (рис. 1). Для обозначения оси, как и раньше, выбрана переменная z , потому что обозначение y обычно используется для вертикальной оси в кадровом окне.

Расстояние a' от задней главной точки объектива до изображения объекта съёмки определяется уравнением [1]:

$$a' = \frac{L_c}{2} - \sqrt{\left(\frac{L_c}{2}\right)^2 - L_c f'}, \quad (1)$$

где f' – фокусное расстояние кинесъёмочного объектива.

Светочувствительная матрица представляет собой регулярную структуру пикселей. Поэтому можно описать угол, в пределах которого объектив собирает световой поток от объектов съёмки на тот или иной пиксель (рис. 2). В плоскости xOz границы этого угла являются прямыми линиями, каждая из которых проходит через заднюю узловую точку объектива $K(x_2, z_2)$ и соответствующую границе пикселя точку в плоскости матрицы $A(x_1, z_1)$ или $B(x_3, z_3)$. Причём точка $B(x_3, z_3)$ одновременно является и границей начала следующего пикселя. Согласно аналитической геометрии, прямая, проходящая через две точки, может быть описана линейным уравнением:

$$\frac{z - z_1}{z_2 - z_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}. \quad (2)$$

Поскольку количество пикселей по горизонтали в кадре всегда чётное, то центр кадра приходится на границу между двумя соседними пикселями.

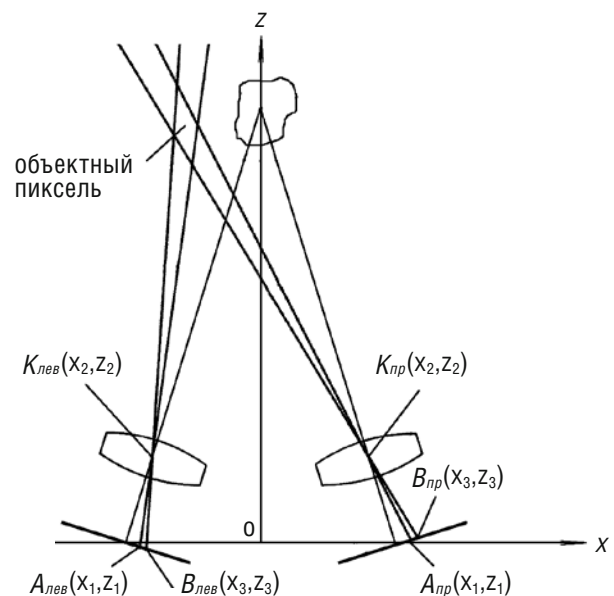


Рис. 2. Оптическая схема, определяющая объектный пиксель

Координаты точек $A(x_1, z_1)$ равны: для левой матрицы –

$$x_1 = -\frac{B_{ко}}{2} + m_{лев} \Delta \cos \alpha \quad (3)$$

и

$$z_1 = -m_{лев} \Delta \sin \alpha \quad (4)$$

а для правой матрицы –

$$x_1 = \frac{B_{ко}}{2} + m_{прав} \Delta \cos \alpha \quad (5)$$

и

$$z_1 = m_{прав} \Delta \sin \alpha. \quad (6)$$

В уравнениях (3) – (6) Δ – расстояние между центрами соседних пикселей на матрице кинесъёмочного аппарата, m – порядковый номер пикселя относительно центра кадра. Примем, что для пикселей, находящихся справа

от центра кадра (при взгляде со стороны матрицы), номер пикселя положительный; для пикселей, находящихся слева от центра кадра, – отрицательный; а для границы пикселя, совпадающей с центром кадра, $m = 0$.

Координаты задних узловых точек объективов определяются следующим образом:

для левого объектива –

$$x_2 = -\frac{B_{\text{ко}}}{2} + a' \sin \alpha \quad (7)$$

и

$$z_2 = a' \cos \alpha, \quad (8)$$

а для правого объектива –

$$x_2 = \frac{B_{\text{ко}}}{2} - a' \sin \alpha \quad (9)$$

и

$$z_2 = a' \cos \alpha. \quad (10)$$

Подставляя координаты точек $A(x_1, z_1)$ и $K(x_2, z_2)$ в уравнение (2), получаем, что в совокупности все рассматриваемые линии описываются уравнениями:

для левого объектива –

$$z_m^{\text{лев}} = \frac{\left(\frac{B_{\text{ко}}}{2} + x\right)(a' \cos \alpha + m_{\text{лев}} \Delta \sin \alpha) - a' m_{\text{лев}} \Delta}{a' \sin \alpha - m_{\text{лев}} \Delta \cos \alpha} \quad (11)$$

и для правого объектива –

$$z_m^{\text{пр}} = \frac{\left(\frac{B_{\text{ко}}}{2} - x\right)(a' \cos \alpha - m_{\text{пр}} \Delta \sin \alpha) + a' m_{\text{пр}} \Delta}{a' \sin \alpha + m_{\text{пр}} \Delta \cos \alpha}. \quad (12)$$

Для определения точки пересечения любых двух прямых линий, одной от левого объектива и другой от правого объектива, приравняем правые части уравнений (11) и (12). В результате после несложных преобразований получаем уравнение, определяющее координату x точки пересечения этих линий:

$$x = \frac{a' \Delta (m_{\text{пр}} + m_{\text{лев}}) \left(\frac{B_{\text{ко}}}{2} - a' \sin \alpha\right)}{a' \Delta (m_{\text{лев}} - m_{\text{пр}}) - 2 \sin \alpha (a'^2 + m_{\text{пр}} m_{\text{лев}} \Delta^2)}. \quad (13)$$

Координата z точки пересечения линий определяется из уравнения (11) или (12) подстановкой в него значения x , полученного из уравнения (13).

Поскольку $\frac{B_{\text{ко}}}{2} \ll L_c$, то $\cos \alpha \approx 1$, а $\sin \alpha \approx \alpha$. Поэтому формулы (11) и (12) допустимо упростить:

$$z_m^{\text{лев}} = \frac{\left(\frac{B_{\text{ко}}}{2} + x\right)(a' + m_{\text{лев}} \Delta \alpha) - a' m_{\text{лев}} \Delta}{a' \alpha - m_{\text{лев}} \Delta} \quad (14)$$

и

$$z_m^{\text{пр}} = \frac{\left(\frac{B_{\text{ко}}}{2} - x\right)(a' - m_{\text{пр}} \Delta \alpha) + a' m_{\text{пр}} \Delta}{a' \alpha + m_{\text{пр}} \Delta}. \quad (15)$$

Тогда координата x из уравнений (14) и (15) определится следующим образом:

$$x = \frac{a' \Delta (m_{\text{пр}} + m_{\text{лев}}) \left(\frac{B_{\text{ко}}}{2} - a' \alpha\right)}{a' \Delta (m_{\text{лев}} - m_{\text{пр}}) - 2 \alpha (a'^2 + m_{\text{пр}} m_{\text{лев}} \Delta^2)}. \quad (16)$$

С помощью уравнений (11)–(13) или (14)–(16) можно рассчитать угловые точки объектных пикселей, определив тем самым размеры объектных пикселей и их положение в пространстве.

Напомним, что объектным пикселем названа [1] область пространства объектов съёмки, характеризующаяся тем, что световой поток от всех объектов, находящихся в данной области, соберётся на каком-либо одном пикселе в левой матрице и на одном пикселе в правой матрице. Причём, это могут быть либо совпадающие пиксели, либо сдвинутые относительно друг друга на величину, равную дискретному горизонтальному параллаксу.

В случае стереосъёмки киносъёмочными объективами, оптические оси которых параллельны, пространство объектов съёмки разбивается на регулярные объектные пиксели. При этом в пределах любой опорной плоскости, включая плоскость рампы, все объектные пиксели равны по размерам, но отличаются по размерам от объектных пикселей в других опорных плоскостях (рис. 4 в [1] и рис. 1 и 3 в [2]). Пространственная ориентация всех объектных пикселей одинакова – их оси параллельны оси Oz .

В случае же стереосъёмки киносъёмочными объективами, оптические оси которых конвергированы, регулярность объектных пикселей нарушается. Как показывают расчёты, размеры объектных пикселей и их пространственная ориентация при одном и том же горизонтальном параллаксе различны и зависят от расстояния объектного пикселя до оси z . В качестве примера на рис. 3 приведены расчётные размеры и вид объектных пикселей в горизонтальном сечении в центре снимаемой сцены при следующих параметрах стереосъёмки: $L_c = 5000$ мм, $f' = 50$ мм, $B_{\text{ко}} = 26$ мм, $\Delta = 0,01$ мм, $m_{\text{лев}} = m_{\text{пр}}$. Для наглядности масштаб на рис. 3 выбран по осям разный. Размеры объектного пикселя в центре снимаемой сцены на расстоянии 5000 мм от матриц, формирующего сигналы изображения с нулевым горизонтальным параллаксом, составляют 0,98 мм по оси x и 378 мм по оси z . Аналогичный объектный пиксель, например, на левом краю снимаемой сцены имеет размеры 0,87 мм по оси x и 349 мм по оси z и развёрнут против часовой стрелки, т. е. его ось не параллельна оси z .

Расчёты области объектных пикселей, выполненные по разработанной методике, показали, что при стереосъёмке киносъёмочными объективами, оптические оси которых конвергированы, нет опорных плоскостей и плоскости рампы. Они трансформируются в вогнутые поверхности, края которых загибаются в сторону киносъёмочных аппаратов. Поэтому их правильнее на-

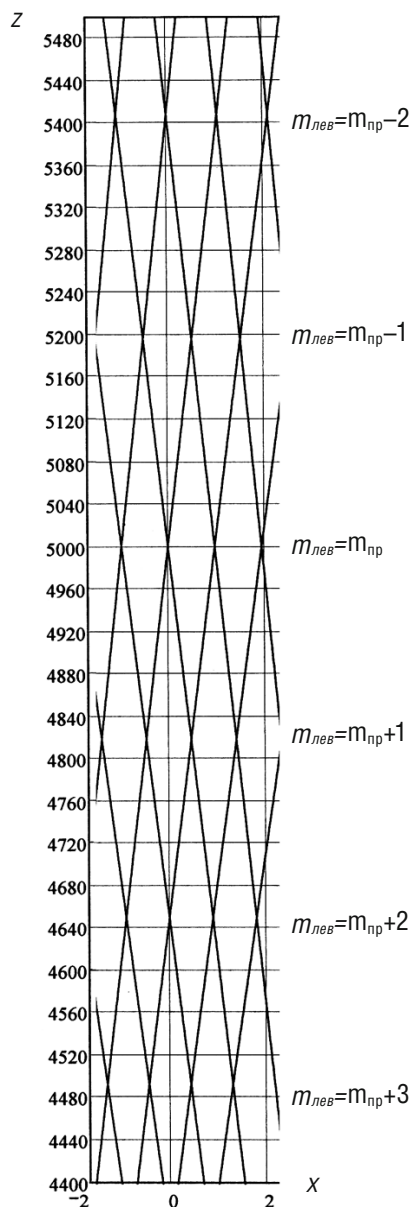


Рис. 3. Горизонтальный разрез объектных пикселей в центре снимаемой сцены, соответствующих параметрам стереосъёмки: $L_c = 5000$ мм, $f' = 50$ мм, $B_{ко} = 26$ мм, $\Delta = 0,01$ мм

зывать, соответственно, опорными поверхностями и поверхностью рампы.

На рис. 4 приведено горизонтальное сечение поверхности рампы, рассчитанной при указанных выше параметрах стереосъёмки. В данном случае на краях снимаемой сцены поверхность рампы загибается настолько, что объекты съёмки, расположенные на краю снимаемой сцены, окажутся записанными с нулевым параллаксом, а аналогичные объекты съёмки, расположенные в данном случае на расстоянии 5000 мм, будут соответствовать зарамповой области и запишутся с некоторым значением положительного параллакса. Иными словами, при таком варианте стереосъёмки стереоизображение при его демонстрации в кинотеатре будет на краях кадра загибаться в заэкранную область. Причём данные иска-

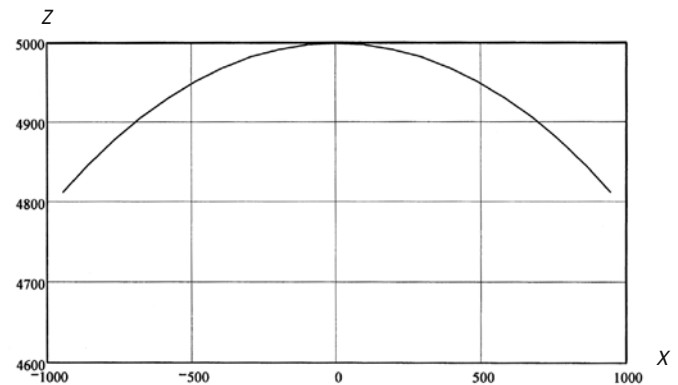


Рис. 4. Горизонтальное сечение поверхности рампы при параметрах стереосъёмки: $L_c = 5000$ мм, $f' = 50$ мм, $B_{ко} = 26$ мм, $\Delta = 0,01$ мм

жения будут тем больше, чем больше угол конвергенции и чем больше коэффициент гипертрофии H .

Кроме того, аналогично тому, как это происходит при стереосъёмке с параллельными осями объективов, если точечный объект стереосъёмки находится между опорными поверхностями, то в зависимости от того, какой объектный пиксель попадёт на данный объект съёмки, изображение этого объекта будет записано с тем или иным соседним значением дискретного горизонтального параллакса.

Только те объекты съёмки, которые расположены непосредственно на опорных поверхностях или на поверхности рампы в центральной их части, аппроксимированной плоскостью, гарантированно запишутся без искажения горизонтального параллакса.

Заключение

Разработана методика расчёта дискретизации глубины пространства объектов съёмки при цифровой стереосъёмке двумя киносъёмочными объективами, оптические оси которых конвергированы. Результаты анализа расчётов, выполненных по данной методике, позволили сделать следующие выводы:

1. Пространство объектных пикселей и сами объектные пиксели искажаются при стереосъёмке, когда оптические оси объективов конвергированы. Регулярность структуры объектных пикселей сохраняется только в центральной части снимаемой сцены.

2. При нахождении объекта съёмки между опорными поверхностями он будет записан с одним или другим соседним дискретным горизонтальным параллаксом и, соответственно, при просмотре стереофильма будет восприниматься либо в одной, либо в другой соседней опорной плоскости.

3. Опорные плоскости, в том числе плоскость рампы, трансформируются в вогнутые поверхности, края которых загибаются в сторону киносъёмочных аппаратов. В результате, при просмотре снятого по данной методике стереофильма, изображения объектов съёмки, расположенных по краям кадра, окажутся сдвинутыми

в заэкранную часть пространства, причём тем больше, чем больше угол конвергенции и величина коэффициента гипертрофии.

Настоящая научно-исследовательская работа проводилась в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Государственный контракт № 14.514.11.4033).

P.S. В статье «Дискретизация глубины киноизображения при цифровой стереосъёмке», опубликованной в журнале «Мир техники кино» № 3, 2012, на страницах 10–11 в обзоре информации литературных источников приведён следующий текст:

«Было определено [5], что положение опорных плоскостей рассчитывается с помощью следующей формулы:

$$L_{on} = L_p \frac{HN}{HN - n}, \quad (1)$$

где L_p – расстояние от поверхности светочувствительного слоя киноплёнки до плоскости рампы (дистанция рампы), H – коэффициент гипертрофии, N – число реально передаваемых заэкранных планов, n – порядковый номер опорной плоскости, причём для заэкранного пространства n берётся со знаком «минус», а для предэкранного – со знаком «плюс»».

В дальнейшем из общения с коллегами выяснилось, что данная трактовка определения знака параметра n , взятая из статьи Овсянниковой Н.А. и Слабовой А.Е. «Технические и технологические принципы «Сtereo-70», опубликованной в 1975 году в журнале «Техника кино и телевидения», № 3, с. 16–26, может быть истолкована по-разному. Поэтому корректнее следующая формулировка: « n – порядковый номер опорной плоскости, причём в формуле (1) для заэкранного пространства перед n берётся знак «минус», а для предэкранного – знак «плюс». ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Раев О.Н. Дискретизация глубины киноизображения при цифровой стереосъёмке // МТК № 3, с. 10–16, 2012.
2. Раев О.Н. Эффект отжимающего действия рамки при демонстрации цифровых стереофильмов // МТК № 4, с. 15–19, 2012.
3. Рожков С.Н., Овсянникова Н.А. Стереоскопия в кино-, фото-, видеотехнике. Терминологический словарь. М.: Парадиз, 2003.

V МЕЖДУНАРОДНАЯ ЕЖЕГОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ЗАПИСЬ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КИНЕМАТОГРАФЕ И ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ»

состоится 18–19 апреля 2013 г.

в помещении Московского киноvideоинститута по адресу: Москва, ул. Академика Королёва, 21

В работе V конференции ожидается участие широкого круга специалистов, занимающихся исследованиями и практическим применением объёмных изображений не только в кинематографе, но и в других сферах деятельности; построенных не только на стереоэффектах, но и на основе голографических принципов.

Цель конференции – обмен информацией, комплексный анализ и выработка путей совершенствования отечественного 3D-стерео кинематографа на всех этапах кинематографического процесса (от сценария до кинопоказа, от научных исследований до выпуска продукции: как кинотехники, так и контента).

Важной темой конференции станет обмен практическим опытом создания стереофильмов и перспективы 3D-технологий.

На конференции планируется также рассмотреть вопросы применения объёмных изображений в учебных процессах, медицине, тренажёрах, защитных системах и т.д.

По итогам V конференции, как и в предыдущие годы, будет издан сборник докладов.

Информационная поддержка конференции – журналы «MediaVision», «Мир техники кино», «Кинемеханик», газета «Новости Союза кинематографистов».

Командировочные расходы и оплата гостиницы за счёт участников.

Срок подачи заявок на участие
в работе конференции с докладом:

20 марта 2013 г.

Срок подачи заявок на презентацию
оборудования, показ стереофиль-
мов и организацию тематических

выставок: **10 апреля 2013 г.**

Срок подачи заявок на участие
в работе конференции без доклада:

10 апреля 2013 г.

Подробную информацию о предстоящей конференции и бланк заявки на участие можно получить на сайте www.стереоконференция.рф или в оргкомитете по телефону: **(495) 619-8611**, e-mail: **ncenter@list.ru**



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

при оперативном формировании 3D-объектов методом фотополимеризации



О.Э. Бабкин, д.т.н., В.В. Ильина, И.Г. Чезлов, д.х.н., СПбГУКиТ;
В.Н. Михайлов, к.ф.-м.н., «ГолоГрейт»

Аннотация

Проведено изучение возможности создания объёмных структур в среде фотополимеризующейся композиции с использованием голографического изображения.

Показано, что использование голограмм для послойного «наращивания» 3D-объектов методом фотополимеризации может обеспечить значительное увеличение скорости формирования объектов по сравнению с существующими методами 3D-прототипирования при последовательном экспонировании излучением, сфокусированным в точку.

Ключевые слова: голографические изображения, 3D-объекты, прототипирование, фотополимеризующиеся композиции.

■ Современные системы трёхмерного компьютерного проектирования (макетирования) позволяют значительно упростить процессы разработки и конструирования объектов различного предназначения. Имея реальную физическую модель будущего изделия (прототип), можно выявить и устранить различные ошибки для корректировки любого процесса (конструирование,

THE USE OF HOLOGRAPHIC IMAGES AT THE OPERATIONAL THE FOR-MATION OF 3D-OBJECTS BY PHOTOPOLYMERIZATION METHOD

O. Babkin, V. Il'ina, V. Mikhailov, I. Chezlov

Abstract

The possibility of creating volume-structures in the environment of photopolymerizable compositions with the use of a holographic image is studied. It is showed, that the use of the hunger-grams for the layer-by-layer «building» 3D-objects by photopolymerization method can provide substantial increase of speed of a fore-programming objects compared with existing methods of 3D-prototyping in the sequential display of the radiation, focused to a point.

Keywords: holographic images, 3D-objects, prototyping, photopolymerizable compositions.

инжиниринг, дизайн). Кроме того, прототип отдельного изделия можно использовать в качестве концептуальной модели для визуализации и анализа общей конструкции – вплоть до проведения функциональных тестов, а общая модель, в свою очередь, может понадобиться для изготовления отдельной инструментальной оснастки.

Современное макетирование реализуется посредством использования лазерного и плоттерного оборудования, 3D-принтеров, позволяющих получать практически готовый объект в оперативные сроки по моделям, созданным средствами компьютерной графики.

Традиционные методы формирования объекта удалением материала и изменением его формы (точение, фрезерование, штамповка и проч.) морально устарели в силу своей трудоёмкости, затратности и сравнительно невысокой воспроизводимости, и на данный момент развития современных технологий наиболее прогрессивным методом формирования трёхмерных объектов становится послойное формирование 3D-объекта по его компьютерному образу (рис. 1) [1].

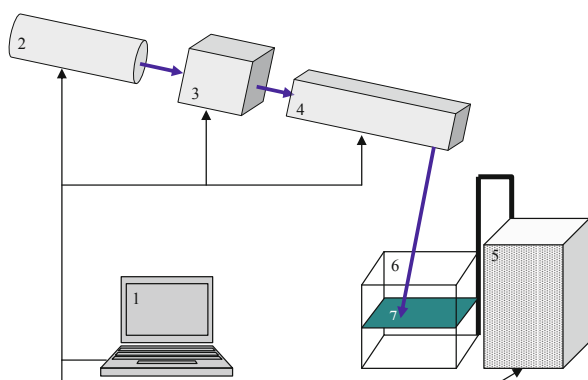


Рис. 1. Послойное выращивание объекта: 1 – управляющий компьютер; 2 – лазер; 3 – акусто-оптический затвор; 4 – двухкоординатный (X-Y) сканатор; 5 – элеватор (Z-координата); 6 – кювета с жидкой фотополимерной композицией (7)

Сущность технологии заключается в послойном синтезе (или послойном «выращивании») отдельного объекта (или сложного изделия) непосредственно по электронным данным – компьютерной CAD-модели (Computer-Aided Design). Такие технологии известны как RP&M (Rapid Prototyping and Manufacturing) или просто RP (Rapid Prototyping – быстрое прототипирование) и широко используются в мире с начала 2000-х годов [2].

Современные технологии послойного изготовления объектов основаны на:

- лазерном раскрое листовых материалов (LOM-процесс);
- спекании и наплавке порошков металлов, керамики и полимеров лазерным излучением или электронным пучком (SLS-процесс);
- фотоиницировании лазерным излучением или излучением люминисцентных ламп ближнего УФ-диапазона полимеризации (SLA-процесс).

Основой последнего направления является локальное изменение фазового состояния однородной среды (фазовый переход жидкость – твёрдое тело) в результате реакции полимеризации при фотоиницировании. Отверждение фотополимеризующейся композиции про-

исходит под действием луча лазера, перемещаемого по поверхности по заданной программе (рис. 2). То есть, рассматривая технологию с точки зрения поэтапного разбиения на отдельные процессы, технология включает:

- 1) создание трёхмерной математической модели объекта,
- 2) разбиение компьютерной модели на тонкие слои,
- 3) последовательное воспроизведение сечений модели объекта на поверхности фотополимеризующейся композиции сфокусированным в точку излучением.

Под воздействием инициирующего излучения происходит изменение фазового состояния среды – в облучённой области образуется твёрдый полимер. Позиционирование лазерного луча в конкретную точку пространства определяется компьютерной моделью прототипа и осуществляется поточечным сканированием лазерного излучения. Переход от одного слоя к другому осуществляется перемещением платформы на глубину, равную толщине выращенного слоя. Процесс циклично повторяется до завершения построения модели [3]. Существующие способы предполагают получение трёхмерного объекта практически любой сложности с габаритами до 1 м³ при точности не хуже 0,1 мм. Главным их недостатком является большая длительность процесса формирования одного слоя твёрдого полимера по технологии попиксельной полимеризации.

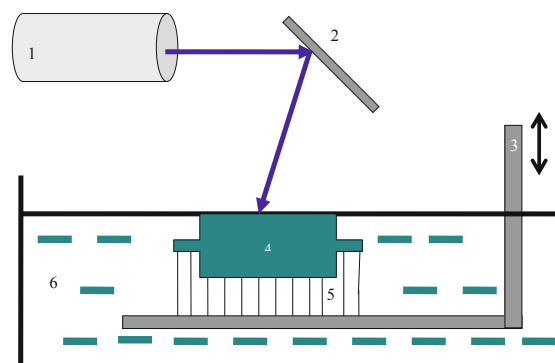


Рис. 2. Лазерная стереолитография (SLA-процесс): 1 – лазер; 2 – отклоняющая система (координата XY); 3 – платформа (координата Z); 4 – деталь; 5 – поддержки; 6 – жидкий фотополимер

Суть фотоиницированной полимеризации состоит в создании с помощью инициирующего излучения в жидкой реакционно-способной среде (фотополимеризующейся композиции) активных центров (радикалов, ионов, активированных комплексов), которые инициируют рост полимерных цепей. Следствием этого является изменение фазового состояния среды, т.е. в облучённой области образуется твёрдый полимер. Поскольку активные центры появляются только в области непосредственного действия облучения, то достигается пространственная селективность фотоиницированной полимеризации. Спектральная селективность фотоиницирующего излучения позволяет

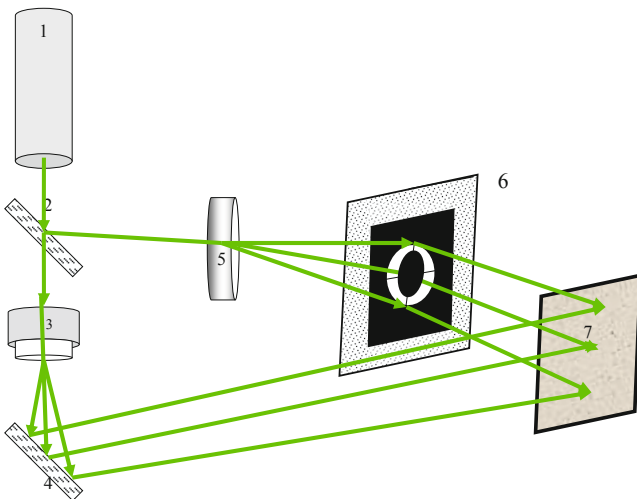


Рис. 3. Оптическая схема записи голограммы тестового объекта: 1 – аргонный лазер; 2 – зеркало №1; 3 – микрообъектив; 4 – зеркало №2; 5 – линза; 6 – тест-объект; 7 – плёнка халькогенида $As_{36}S_{44}/Se_{20}$

проводить полимеризацию в условиях естественного освещения [4].

Созданные по SLA-технологии модели могут использоваться в разных областях производства и научных исследований: конструкторские прототипы при создании макетов и сборок; формообразующая оснастка для различных видов точного литья; мастер-модели в изготовлении гальванопластики инструментов для электроэрозионной обработки; восстановление объектов для медицины, криминалистики, археологии, музееведения и др.

Альтернативой лазерной стереолитографии (SLA-процессу) может стать способ создания объёмных структур в среде фотополимеризующейся композиции с использованием голографических изображений. Использование голограмм для послойного «наращивания» 3D-объектов методом фотополимеризации может обеспечить значительное увеличение скорости формирования объектов по сравнению с существующими методами 3D-прототипирования при последовательном экспонировании излучением, сфокусированным в точку. Исходным прототипом объекта в таком случае становится не компьютерная CAD-модель (электронные данные), а его голографический образ.

При записи голограммы прототипа предпочтительно выбирать регистрирующую среду с наибольшим значением отношения сигнал/шум. Из предлагаемых в настоящее время наиболее подходят для этой цели фоторезистивные материалы, запись голограмм на которых относится к рельефно-фазовому типу, в частности – плёнки халькогенида толщиной ~ 1 мкм, нанесённые на жёсткую (например, стеклянную) подложку.

Исследования о возможности использования голографических изображений при создании 3D-объектов методом фотополимеризации проводили с отражающими голограммами, записанными по схеме Френеля (рис. 3)

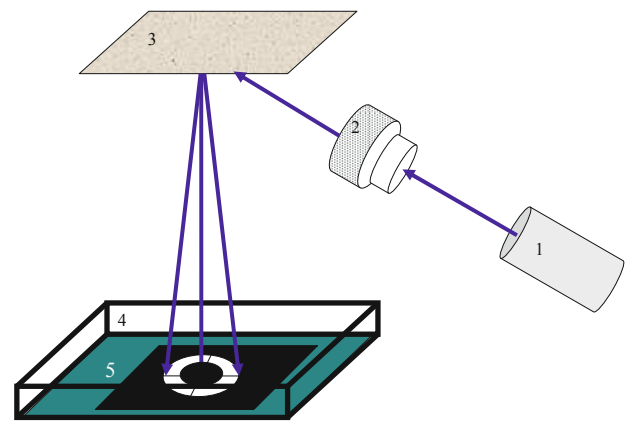


Рис. 4. Схема установки для послойного изготовления 3D-объектов с использованием в качестве прототипа восстановленного голографического изображения: 1 – лазерный УФ-излучатель; 2 – телескоп; 3 – голограмма прототипа; 4 – кювета с жидкой фотополимеризующейся композицией (5)

на плёнках халькогенида состава $As_{36}S_{44}/Se_{20}$ толщиной $\sim 1,2$ мкм, при помощи аргонного лазера с генерацией излучения на длине волны $\lambda=488$ нм.

Режим постэкспозиционной обработки голограммы тест-объекта включает следующие стадии: травление в комбинации органических компонентов в течение 25 минут; фиксирование в течение 2 минут, промывка в ацетоне в течение 2 минут и сушка горячим воздухом ($T=40\pm 5^\circ C$).

В качестве тест-объекта использовалась геометрическая фигура, имеющая форму кольца с внешним диаметром $D=10$ мм. Пересечение тонких линий (толщина которых составляла $\sim 0,1$ мм) под прямым углом в центре фигуры использовалось для определения точного положения действительного изображения в пространстве, а также для оценки разрешающей способности метода.

Восстановление изображения проводили в среде фотополимеризующейся композиции «Акрокор УФ» (разработка ООО «Научно-производственная фирма «ИНМА», г. Санкт-Петербург), при помощи лазера с генерацией излучения на длине волны $\lambda=405$ нм (так называемая область UV-V при отверждении фотополимеризующихся композиций под воздействием УФ-излучения), с интенсивностью излучения 80 мВт.

На рис. 4 представлена схема установки послойного изготовления 3D-объектов с использованием в качестве прототипа голографического изображения. Воспроизведение сечений в данном случае осуществляется путём перемещения платформы с композицией.

Изменение размера изображения, восстановленного голограммой, можно рассчитать по известным формулам. Для действительного изображения (т.е. изображения, восстановленного голограммой в слое фотополимерной композиции) изменение масштаба в поперечном направлении определяется по формуле:

$$M = [1 + z_0(1/\mu z_2 - 1/z_1)]^{-1}$$

где:

$\mu = \lambda_2/\lambda_1$ – отношение длин волн при записи (λ_1) и восстановления (λ_2) голограммы,

z_0 – расстояние от голограммы до объекта,

z_1 – координата опорного пучка при записи голограммы,

z_2 – координата опорного пучка при восстановлении изображения.

В нашем случае, для $\lambda_1=488$ нм и $\lambda_2=405$ нм, получаем $\mu=0,83$.

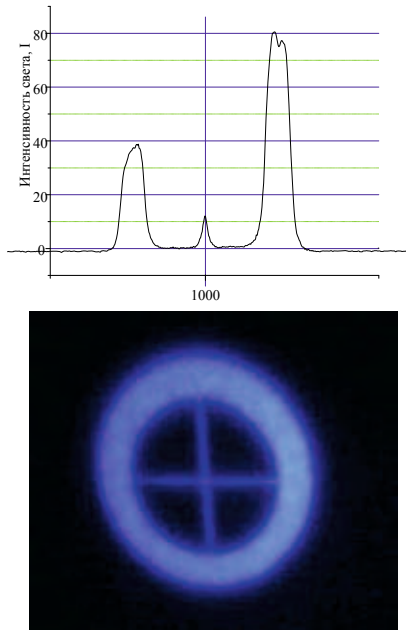


Рис. 5. Контраст восстановленного голографического изображения

Предполагая, что $z_1=z_2$ (т.е. расходимость опорного пучка при записи и восстановлении изображения голограммой примерно одинакова), а $z_0=0,1z_1$, получим, что $M=0,98$ (изменение масштаба на 2%). Для точного воспроизведения размера изображения можно использовать изменение координаты z_2 . Это легко может быть реализовано, например, изменением расходимости опорного пучка при восстановлении изображения путём юстировки телескопа (телескоп 2 на рис. 4).

Для оценки качества восстановленного голограммой изображения измеряли значение интенсивности света в кольце ($I_{св.}$) и внутри кольца ($I_{тёмн.}$) (рис. 5), их соотно-

шение использовалось для оценки контраста изображения $K=I_{св.}/I_{тёмн.}$.

Для определения экспозиции для достижения необходимой степени полимеризации тонкого слоя ФПК использовалась формула:

$$\epsilon_n = p \cdot T_3 \cdot D\mathcal{E}/S,$$

где p – мощность лазера (мВт),

T_3 – длительность экспозиции (с),

$D\mathcal{E}$ – значение дифракционной эффективности голограммы (в долях от единицы),

S – площадь изображения в фокусе ($см^2$).

В результате проведённых экспериментов установлено, что достаточная степень полимеризации слоя используемой композиции достигается за время $T_3=30$ сек при площади изображения $S=0,6$ $см^2$, мощности лазера $p=80$ мВт и дифракционной эффективности голограммы $D\mathcal{E}=0,04$ (4%). Таким образом, экспозиция составляла $\epsilon_n \cong 0,2$ Дж/ $см^2$. При этом средняя толщина элементов объекта составляла $\cong 1$ мм.

В сравнении, для создания одного слоя трёхмерного объекта площадью поверхности $\sim 0,6$ $см^2$ точностью 0,1 мм, что соответствует разрешению ~ 250 dpi, требуется время ~ 200 –300 с, в зависимости от состава среды и мощности излучения.

3D-объект, полученный методом послойного формирования в среде жидкой фотополимеризующейся композиции по голографическому прототипу, представлен на рис. 6. ■

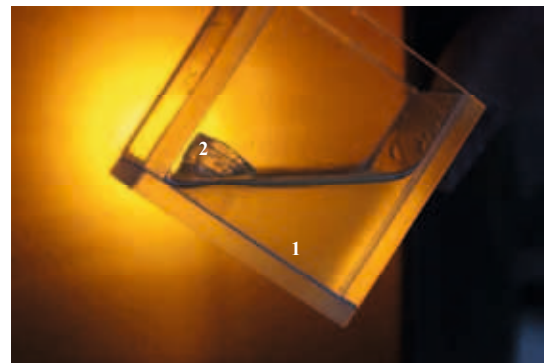


Рис. 6. 3D-объект, созданный методом фотополимеризации с использованием голографического изображения: 1 – жидкая фотополимеризующаяся композиция; 2 – сформированный под действием УФ-излучения твёрдый 3D-объект

ЛИТЕРАТУРА

1. Горюшкин В.И. Основы гибкого производства деталей машин и приборов. Мн.: Наука и техника, с. 222, 1984.
2. Pat. USA 6.600.965B1, date Jul.29, 2003. Method and apparatus for production of high resolution three-dimensional objects by stereo lithography / Charles W. Hull, Santa Clarita, CA (US) and others.
3. Евсеев А.В., Марков М.А. Послойное изготовление деталей из жидких фотополимеризующихся композиций излучением СеСл лазера. // Квантовая электроника, Т. 21, № 5, с. 495–498, 1994.
4. Евсеев А.В. Оперативное формирование трёхмерных объектов методом лазерной стереолитографии. / С.В. Камаев, Е.В. Коцюба, М.А. Марков, М.М. Новиков, В.Я. Панченко, Н.М. Семёшин, В.П. Якунин // Сборник трудов ИПЛИТ РАН, с. 26–39.



ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНВАРИАНТНОГО КОРРЕЛЯЦИОННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ для контроля качества мастер-матриц защитных голограмм

(Доклад на 9-ой Международной конференции «ГолоЭкспо-2012»
«Голография. Наука и практика», 17–21 сентября 2012, город Суздаль, Россия)

Е.Ю. Злоказов, к.ф.-м.н, Р.С. Стариков, д.ф.-м.н., НИЯУ МИФИ;
А.Ю. Жердев, В.В. Колючкин, Д.С. Лушников, аспиранты,
С.Б. Одинокоев, д.т.н., И.А. Швецов, МГТУ им. Н.Э. Баумана;
А.В. Смирнов, ОАО «НПО «Криптен»

Аннотация

Использование защитных голограмм является эффективным средством защиты подлинности оригинальной видеопродукции. Благодаря уникальному дизайну, скрытым элементам и микроизображениям подделка защитных голограмм является весьма затруднительной. Качество защитной голограммы определяется идеальностью изготовления используемой при её производстве никелевой мастер-матрицы. В работе изложен разработанный авторами алгоритм оценки качества мастер-матриц защитных голограмм на основе метода корреляционного распознавания.

Ключевые слова: голография, защитная голограмма, мастер-матрица, инвариантный корреляционный фильтр.

Abstract

Application of security holograms is an effective way to protect the authenticity of the original video production. Security holograms appear to be very difficult to counterfeit due to unique design, hidden items and microimages. Security holograms quality depends on shim-matrix perfection used in the technology of hot embossing replication. Shim-matrix quality control reduces the rejection rate of security holograms production before their manufacturing. The parameters of a relief are the among determining factors affecting the quality of the hologram. The paper offers an algorithm of assess the shim-matrix quality based on the correlational recognition.

Keywords: holography, security holograms, shim-matrix, invariant correlation filter.

Распространение контрафактной продукции является серьёзной проблемой как в киноиндустрии при защите информационных носителей, таких как CD/DVD диски, так и в других областях производства, а также в документообороте. Одним из эффективных средств защиты подлинности продуктов при определении подлинности видеопродукции и ценных документов (паспорта, пропуска, кредитные карты, векселя и т.п.) в настоящее время является использование специальных защитных голограмм (ЗГ). Оригинальность таких голограмм до-

стигается за счёт уникального дизайна, включающего в себя, помимо изображаемой сцены, такие элементы как скрытые изображения, микротексты, микроизображения и т.д. Производство таких голограмм осуществляется путём реплицирования мастер-голограммы. Поскольку изготовление мастер-голограммы требует использования дорогостоящего специализированного высокотехнологического оборудования, то подделывать произведённые с её помощью ЗГ практически невозможно.

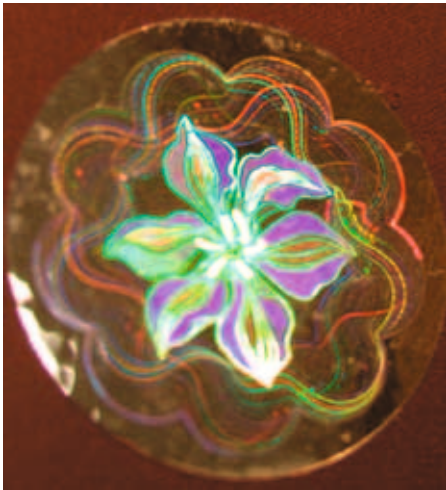


Рис. 1. Изображение тестируемой голограммы

Для серийного производства ЗГ широкое распространение получила технология горячего тиснения (эмбоссирования) лавсановой бумаги при помощи никелевой мастер-матрицы под высоким давлением. Дефекты мастер-матрицы, вызванные перетравом или недотравом при производстве, эластической деформацией при копировании, а также её износом, в значительной степени сказываются на качестве производимых голограмм. При этом снижается точность изображаемой сцены, искажаются скрытые изображения, частично или полностью пропадают микротексты и микроизображения. Поэтому, перед запуском тиража ЗГ необходимо производить контроль качества используемой в печатном станке мастер-матрицы. В данной работе представлен метод автоматизированного контроля качества никелевых мастер-матриц, основанный на компьютерной обработке изображений, полученных при микросъёмке их поверхностного рельефа. Предлагаемый алгоритм обработки сочетает в себе как методы пространственно-частотного

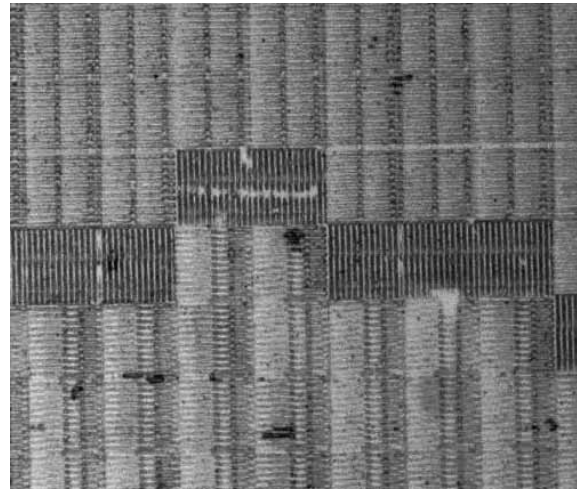


Рис. 2. Микроизображение защитной голограммы

Фурье-анализа изображений, так и инвариантного корреляционного распознавания образов.

Рельефно-фазовая голограмма представляет пиксельную структуру, содержащую набор дифракционных решёток различной пространственной частоты и ориентации (рис.1). Глубина рельефа – порядка 300 нм. При правильном приготовлении мастер-матрицы, форма рельефа должна быть близка к синусоидальной, причём чем она ближе к синусоиде, тем выше качество производимых голограмм. Для контроля подобных структур можно воспользоваться анализом в плоскости пространственных частот Фурье.

Рассмотрим одномерный случай. На рис. 3а представлен график периодической функции $y_0(x) = \sin^2 x$. Распределение интенсивности Фурье-спектра такой функции представляет собой набор из трёх пиков: нулевого – в центре спектра и боковых (+1-го и -1-го), симметрично отстоящих от нулевого на расстоянии, обратно пропорциональном частоте рассматриваемой

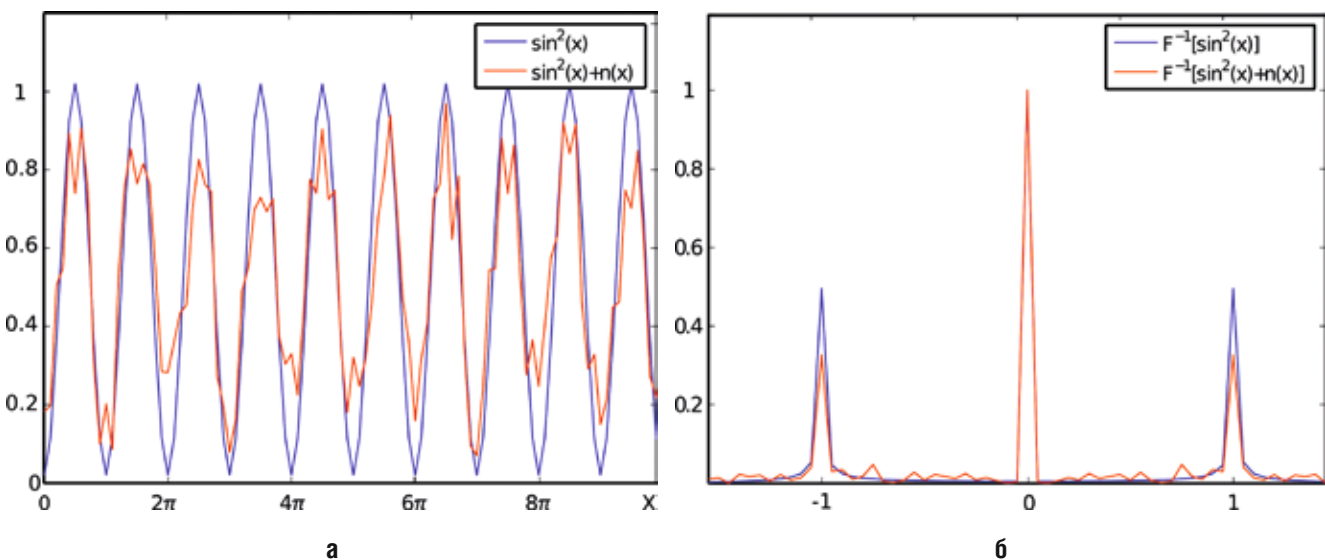


Рис. 3. Графическое представление математической модели формы рельефа мастер-матрицы защитной голограммы: а) график периодической функции; б) распределение интенсивности Фурье-спектра периодической функции

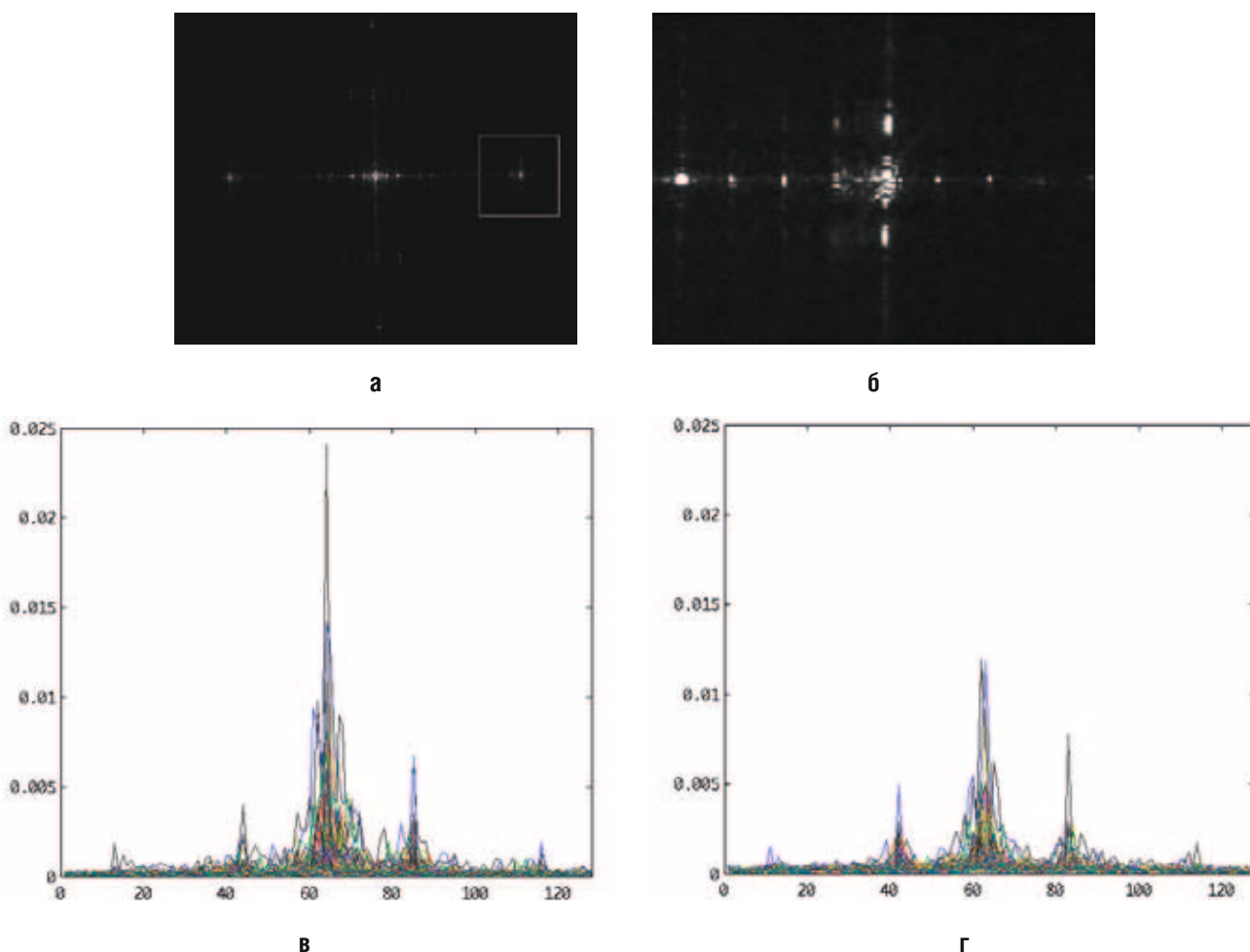


Рис. 4. Спектры микроизображений голограмм различного качества

функции (рис. 3б). При добавлении к функции $y_0(x)$ шума $l(x)$, в её нормированном спектре происходит снижение интенсивности боковых пиков, искажается их форма, появляются дополнительные пики. По искажениям в окрестности одного из боковых пиков можно оценить уровень зашумления функции в целом.

Аналогичный эффект наблюдается и в случае двумерных решёток с синусоидальным профилем рельефа. На рис. 4а представлен Фурье-спектр микроснимка с рис. 2. На изображённом элементе мастер-матрицы присутствуют два типа решёток: с вертикальной и горизонтальной ориентацией полос, поэтому в его Фурье-образе соответствующие спектральные пики разнесены симметрично относительно нулевого порядка в направлении, перпендикулярном ориентации полос решётки. На рис. 4б изображена окрестность одного из боковых пиков.

Для проведения исследований были отобраны экземпляры мастер-матриц различного качества. На рис. 4в и 4г представлены профили боковых пиков Фурье-спектров изображений мастер-матриц, признанных в результате экспертной оценки как «хорошая» и «плохая», соответственно. Как и в одномерном случае, при снижении качества изображаемой структуры в области боковых пиков спектра происходят значительные из-

менения. Воспользуемся изображением окрестности одного из боковых пиков интенсивности Фурье-спектра, соответствующего решёткам с вертикальной ориентацией штрихов, в качестве характеристики представленной мастер-голограммы. Для увеличения точности оценки необходимо также рассмотреть характеристики, содержащие пики, соответствующие решёткам с горизонтальной ориентацией штрихов, или рассмотреть сразу всю область пространственного спектра вокруг 0-го порядка, включающую в себя пики для всех типов решёток. Однако в этом случае требуется обработка большего количества данных, поэтому ограничимся одной областью, обладающей наибольшим значением амплитуды пика. Для сравнения характеристики эталонной голограммы с такой же характеристикой тестируемой голограммы можно воспользоваться методами корреляционного распознавания [1].

Суть корреляционного распознавания изображений заключается в сравнении матриц эталонного и тестируемого изображений путём вычисления двумерной корреляционной функции между ними. Математически эта операция вычисляется по формуле:

$$c(x_c, y_c) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} s_{ref}^*(x, y) s_m(x - x_c, y - y_c) dx dy = s_{ref}^* \otimes s_m, (1)$$

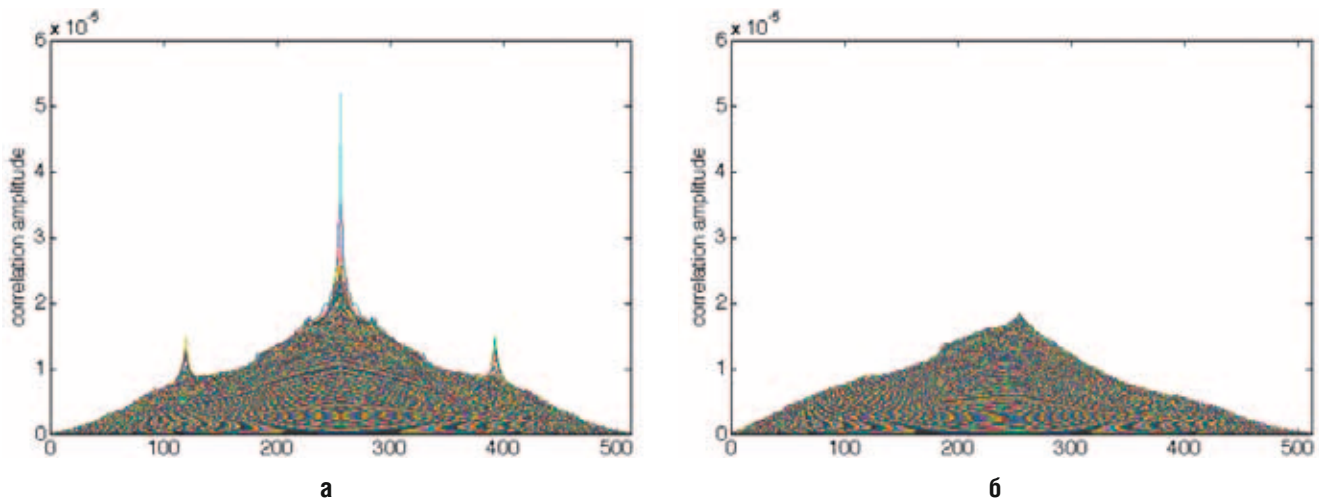


Рис. 5. Распределение амплитуды корреляционной функции для мастер-матриц различного качества: а) хорошего качества; б) плохого качества

где $S_{ref}(x,y)$ – эталонное изображение (тренировочное), $S_{in}(x,y)$ – тестируемое изображение (входное), \otimes – обозначение кросс-корреляции. По виду корреляционной функции $c(x_c, y_c)$, а в частности, по наличию на ней тонкого пика и его высоте судят о степени сходства тестируемого изображения с эталоном. Чем ближе тестируемое изображение к эталону, тем выше и тоньше корреляционный пик (рис. 5).

На практике использование только одного тренировочного изображения в качестве эталона приводит к снижению эффективности корреляционного сравнения в силу высокой чувствительности характеристик корреляционного пика к таким искажениям во входном изображении как поворот, масштабирование, изменения освещённости, а также помехи и шумы различной природы. Одним из эффективных инструментов борьбы с декорреляцией является использование в качестве эталона составных инвариантных корреляционных фильтров (КФ). КФ синтезируется численно на основании набора тренировочных изображений в виде их взвешенной суммы:

$$h(x, y) = a_1 s_1(x, y) + \dots + a_N s_N(x, y), \quad (2)$$

где $\{S_1(x, y) \dots S_N(x, y)\}$ – набор из N тренировочных изображений, a_1, \dots, a_N – весовые коэффициенты. Для повышения точности распознавания необходимо, чтобы в фильтр была заложена информация о максимально возможных искажениях эталона. Для этого в тренировочный набор должны войти изображения эталона с как можно большей дисперсией.

Выбор весовых коэффициентов является сложной задачей, решение которой во многом зависит от типа обрабатываемых изображений, количества тренировочных изображений и характера искажений. В работах [2, 3] представлены КФ с оптимизацией параметров. В частности, в [3] описан КФ с максимизацией средней высоты корреляционного пика (MACH – maximum average correlation height), который оказался наиболее «эконо-

мичен» для расчёта и показал высокие результаты распознавания изображений объектов эталонного класса, не вошедших в тренировочный набор. Рассчитывается этот фильтр в соответствии с формулой:

$$h = S_g^{-1} \bar{g}, \quad (3)$$

где h – вектор-столбец Фурье-коэффициентов искомого фильтра, S_g – диагональная матрица, представляющая меру сходства тренировочных изображений со средней по всем тренировочным изображениям величиной (СКО), \bar{g} – вектор средних значений Фурье-коэффициентов тренировочных изображений.

Описанный алгоритм был численно опробован на реальных микроизображениях рельефа мастер-матриц 3Г нескольких видов. Наиболее показательный результат для протестированной голограммы представлен на рис. 3а.

В тестовом наборе присутствовали микроизображения поверхностного рельефа двенадцати голограмм: 6 голограмм типа «good» и 6 – «bad», отснятых, соответственно, с «хорошей» и «плохой» мастер-матриц. При микросъёмке каждая голограмма позиционировалась вручную. В каждой голограмме снимались 3 зоны, в каждой зоне выбирались 8 точек с соответствующим смещением в 10 и 20 мкм относительно выбранной центральной точки. MACH-фильтр рассчитывался на основании различных тренировочных наборов, состоящих из спектральных характеристик различных голограмм «хорошего» типа. Для каждого фильтра проводился расчёт амплитуды корреляционного пика со всеми тестовыми голограммами. Оценка производилась путём расчёта точности распознавания по критерию Неймана-Пирсона.

Результаты исследования метода для различных тренировочных наборов показаны на рис. 6, где тренировочный набор составлен из: а) всех восьми микроснимков зоны 1, голограммы «good_1»; б) микроизображений центральной точки зоны 1 голограмм «good_1», «good_2» и «good_3»; в) микроизображений точек со

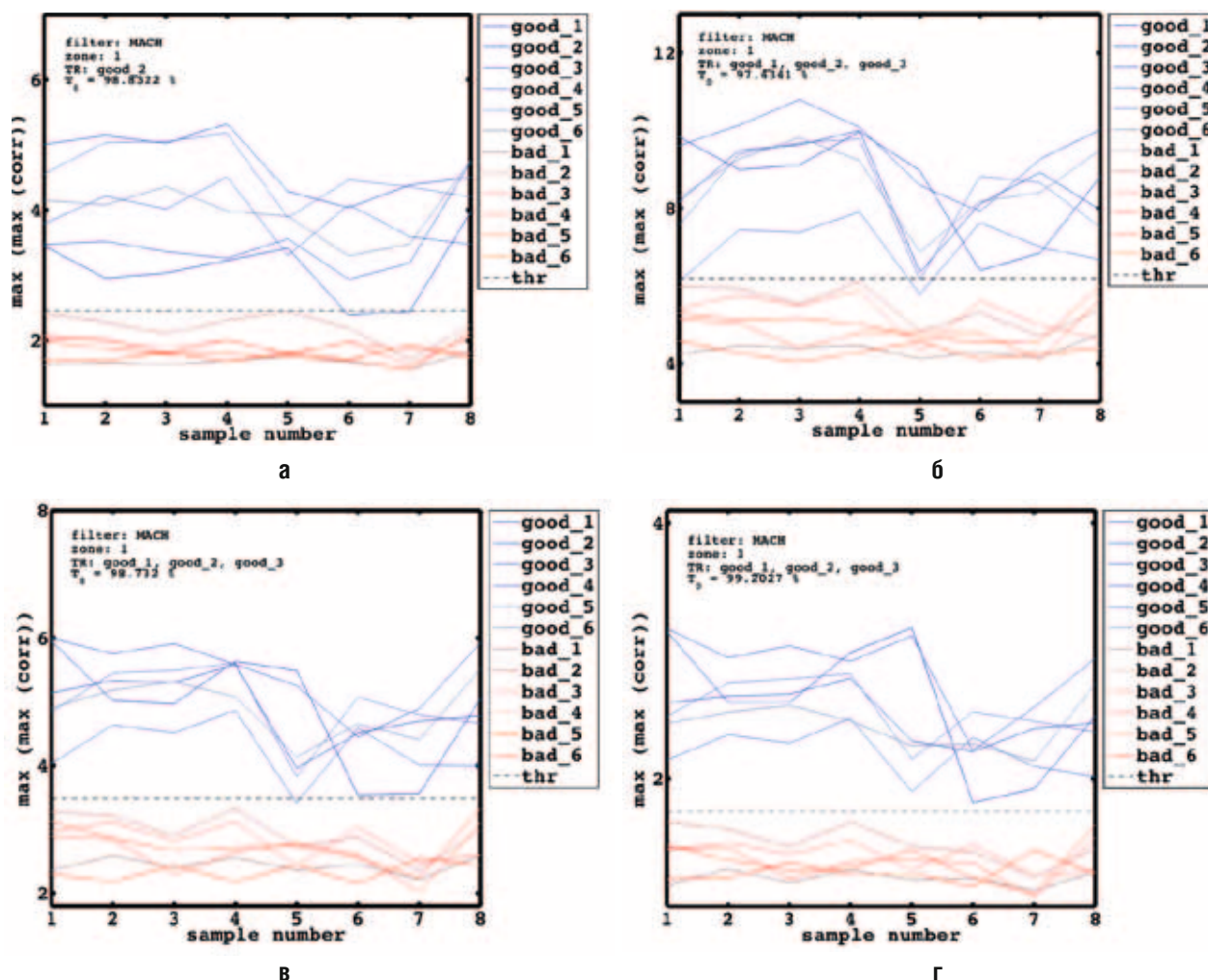


Рис. 6. Голограмма «РЖД»: амплитуда корреляционного пика для микроизображений голограмм всех типов

смещением 10 мкм голограмм «good_1», «good_2» и «good_3»; г) микроизображений точек со смещением 20 мкм голограмм «good_1», «good_2» и «good_3».

Из представленных результатов видно, что при использовании для синтеза фильтра микроснимков нескольких различных голограмм точность распознавания возрастает. На примере смещения показано, что при наличии ошибок в позиционировании матриц при съёмке точность распознавания может быть также увеличена путём добавления в тренировочный набор микроизображений, снятых с максимальным искажением (смещением).

Заключение

В результате исследования микроснимков поверхностного рельефа мастер-матриц ЗГ было установлено, что снижение качества может быть выявлено по искажениям, возникающим в определённых областях двумерных

пространственных Фурье-спектров этих изображений. Эти области соответствуют окрестностям пиков, возникающих из-за наличия периодической структуры в исходных микроизображениях. Наличие шумов и искажение рельефа изображаемой структуры приводит к снижению амплитуды спектрального пика и искажениям в его окрестности. Поэтому сам пик и его окрестность могут послужить характеристикой при анализе качества голограмм. Поскольку речь идёт о двумерных спектрах, то эти характеристики могут быть представлены в виде небольших изображений, а для их обработки можно применить методы инвариантного корреляционного распознавания, основанные на использовании в качестве эталона инвариантных корреляционных фильтров. Результаты численного моделирования метода на реальных мастер-матрицах показали, что точность определения качества может достигать 99%. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Vijaya Kumar B.V.K., Mahalanobis A., and Juday R.D. Correlation Pattern Recognition. Cambridge University Press, New York, April 2005.
2. Vijaya Kumar B.V.K. Tutorial survey of composite filter designs for optical correlators. Applied Optics, 31(23): p. 4773–4801, 1992.
3. Mahalanobis A., Vijaya Kumar B.V.K., Song Sewoons, Sims S.R.F., and Epperson J.F. Unconstrained correlation filters, Applied Optics, Vol. 33, Issue 17, p. 3751–3759, 1994.



САМЫЕ ПЕРВЫЕ В ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ МИРОВОГО КИНЕМАТОГРАФА



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

1558 год

– Первая работающая «Камера-обскура» была изготовлена в 1558 году **Джованни Батиста делла ПОРТА** (Giovanni Battista della Porta) (15.11.1535–04.02.1615), неаполитанским математиком и физиком, который в своей работе «Натуральная магия» (Magiae naturalis) (1560) описал прибор и способ повышения яркости изображения при замене отверстия линзой.

Первые упоминания о камере-обскура, которая в переводе с латыни означает «тёмная комната», можно найти в работах арабских учёных конца X века. Камера представляет собой тёмный ящик с небольшим отверстием в одной из стенок. Если обратить это отверстие к освещённым объектам, то на противоположной стенке внутри ящика проецируется цветное перевёрнутое изображение этих объектов в мельчайших деталях. Причём, чем мень-

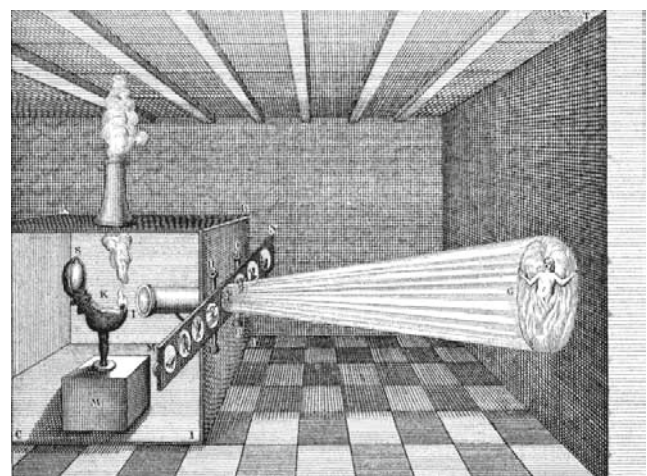
ше отверстие, тем чётче очертания предметов, но меньше яркость изображения.

1662 год

– **Первый проекционный прибор – «Lanterne Magique» (Волшебный фонарь)** появился в середине 17 века.

Прибор работал так: с помощью линзы солнечный свет, отражённый от зеркальной поверхности с нанесённым на неё рисунком, проецировался на экран.

Первую публичную демонстрацию «Волшебного фонаря» провёл в 1662 году Томас Вальгенштейн (Thomas Rasmussen Walgensten).



Первая публикация изображения «Волшебного фонаря» в книге Атанасиуса Кирчера «Ars Magna Lucis et Umbra» (1671)

Бродячие иллюзионисты быстро взяли на вооружение новое изобретение для показа пляшущих привидений и скелетов и стали путешествовать по Европе с волшебным фонарём и набором картинок.

Историки спорят о том, кому принадлежит честь быть изобретателем «Волшебного фонаря», среди них:

Томас Расмуссен ВАЛЬГЕНШТЕЙН (Thomas Rasmussen Walgenstein) (1622–1701) – датский математик и физик;

Христиан Гюйгенс (Christian Huygens) (14.04.1629–08.07.1695) – голландский учёный;

Атанасиус КИРЧЕР (Athanasius Kircher) (02.05.1601–27.11.1680) – римский профессор математики.



Кадр для «Волшебного фонаря» 17 века «Айсберги недалеко от берега Лабрадора» (Icebergs off the coast of Labrador) из коллекции Royal Polytechnic, Cin math que fran aise



Кармонтель (Louis Carrogis Carmontelle). Портрет шевалье Д'Арси (1769)

1765 год

– Французский физик **Патрик Д'АРСИ** (chevalier Patrick D'Arcy) (27.09.1725–18.10.1779) наглядно продемонстрировал явление инерции зрительного восприятия, повертев над головой горелку с пылающими углями. Способность глаза запоминать последовательные события – **Персистенция** (лат. *persisto* – постоянно пребывать, оставаться). П. Д'Арси установил длительность персистенции сетчатки человеческого глаза. Она составила тринадцать сотых секунды. Эта способность глаза соединять быстро сменяющиеся изображения в одно неподвижное изображение стало основным принципом устройства кинематографа.

1825 год

– Английский врач, геолог и астроном **Уильям Генри ФИТТОН** (William Henry Fitton) (1780–1862) и лондонский врач Джон Аэртон ПАРИ (John Ayrton Paris) (1785–24.12.1856) создали детскую игрушку «**Thaumatrope**» (**Тауматроп**).



William Henry Fitton



Charles Skottowe. Портрет John Ayrton Paris (1838)

В 1829 году Джозеф Плато так описал устройство этой игрушки:

«Надо нарисовать два различных предмета на двух сторонах картонного диска таким образом, что, если начать вращать этот диск с большой скоростью вокруг его диаметра как вокруг оси, слияние восприятий двух рисунков создаст третий. Если с одной стороны нарисовать птицу, а с другой – клетку, то птица будет казаться помещённой в клетку».



Рисунки на каждой из двух сторон Тауматропа



Изображение, возникающее во время вращения Тауматропа

1826 год

– Первые постоянные фотоизображения получены французским изобретателем **Жозефом Нисефором НЬЕПСОМ** (Joseph Nicéphore Niépce) (07.03.1765–05.07.1833).



Вид из окна на Le Gras.
Фотография Ж. Ньепса

Joseph Nicéphore Niépce

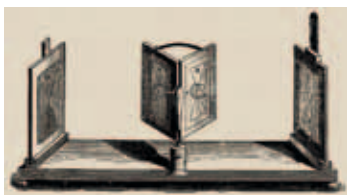
Одна из самых ранних сохранившихся фотографий Ж. Ньепса «Вид из окна на Le Gras» размером 20x25 см была сделана на пластине из сплава олова со свинцом и покрытая асфальтом. Экспозиция продолжалась 8 часов.



Charles Wheatstone

1832 год

– Британский физик профессор Лондонского Королевского колледжа **Чарльз ВЕАЦТОН** (Charles Wheatstone) (06.02.1802–19.10.1875) сконструировал и изготовил первый стереоскоп – прибор, позволяющий видеть объёмным изображение путём совмещения правого и левого ракурсов. Ввиду того, что фотография только делала первые шаги, Веацтон использовал свои рисунки, нарисованные в двух ракурсах. По результатам своих работ Веацтон подготовил доклад «О некоторых поразительных и до сих пор не изученных явлениях бинокулярного видения» (On Some Remarkable and Hitherto Unobserved Phenomena of Binocular Vision), с которым выступил в 1838 году в лондонском Королевском научном обществе. А через девятнадцать лет после своего изобретения стереоскопа на Всемирной выставке в Лондоне в 1851 году учёный представил публике первые стереоскопические фотоснимки.



Зеркальный стереоскоп Чарльза Веацтона

1834 год

– Английский изобретатель **Уильям Георг ХОРНЕР** (William George Horner) (1786–22.09.1837) изобрёл в 1834 году «**Daedalum**» (Дидэлам) – «Колесо дьявола». В отличие от «**Phenakistiscope**» (Фенакистископ) он был более удобен для просмотра движущихся изображений, так как позволял наблюдать движение несколькими зрителям одновременно. На целых 30 лет про изобретение Хорнера было забыто. И только 23 апреля 1867 года американец Уильям ЛИНКОЛЬН (William Lincoln) переименовал «Колесо дьявола» в «Колесо жизни» – «**Zoetrope**» (Зоетроп) и запатентовал его.



До сих пор интерес к Zoetrope не пропал. Во многих европейских детских магазинах можно увидеть различные современные реконструкции киноигрушки XIX века с большим выбором лент с фазами-сюжетами для взрослых и детей

Конструкция «Зоетропа» очень проста. Он состоит из барабана с открытым верхом, внутрь которого устанавливается бумажная лента с 12 картинками последовательных фаз движения. По внешней стороне поверхности барабана вырезаются 12 вертикальных щелей, через которые ведётся просмотр. Барабан закрепляется на центральной оси и приводится в движение рукой одного из зрителей.



Ленты для современных Зоетропов

1836 год

– **Джозеф Антуан Фердинанд ПЛАТО** (Joseph Antoine Ferdinand Plateau) (14.10.1801–15.09.1883) разработал «Волшебный Диск» или «**Phenakistiscope**» (Фенакистископ).

Вот как автор описал устройство и принцип действия своего прибора: «Аппарат состоит из картонного диска с прорезанными в нём отверстиями. На одной стороне



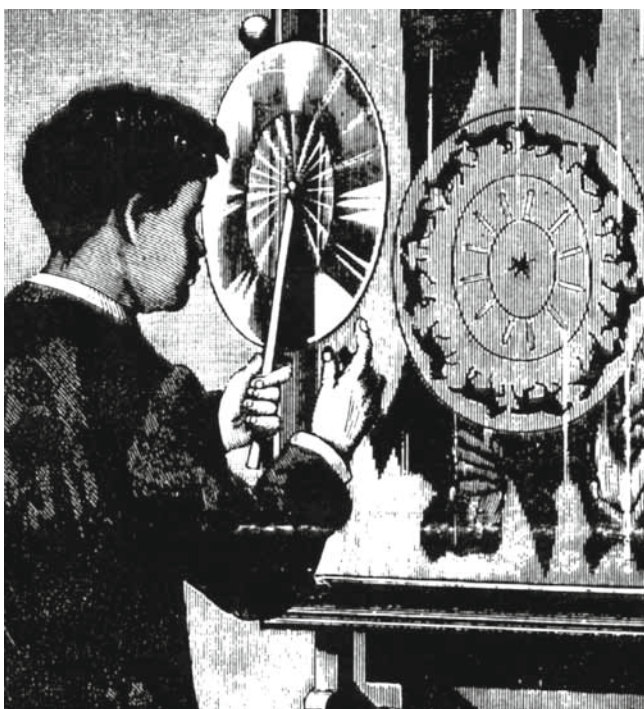
Один из вариантов Фенакистископа



Сменный диск для Фенакистископа

диска нарисованы фигуры. Когда диск вращают вокруг оси перед зеркалом, то фигуры, рассматриваемые в зеркале через отверстия диска, представляются не вертящимися вместе с диском, а, наоборот, кажутся совершенно самостоятельными и делают движения, им присущие.

Принцип, на котором основан этот оптический обман, очень прост. Если несколько предметов, постоянно меняющих форму и положение, будут последовательно возникать перед глазами через очень короткие промежутки времени и на маленьком расстоянии друг от друга, то изображения, которые они вызывают на сетчатке, сольются, не смешиваясь, и человеку покажется, что он видел предмет, постоянно меняющий форму и положение».



Фенакистископ

1837 год

– Луи ДАГЕР (Louis-Jacques-Mande Daguerre) (18.11.1787–10.07.1851) усовершенствовал процесс получения фотоизображения, используя посеребрённые медные пластинки, которые после тщательной полиров-

ки, перед съёмкой обрабатываются парами йода до образования светочувствительного слоя йодистого серебра. После экспонирования скрытое изображение проявляется парами ртути и закрепляется в растворе тиосульфата натрия (гипосульфит).



Портрет Луи Дагера. Дагерротип изготовлен Жаном Баптистом Сабатиером Бло (Jean-Baptiste Sabatier-Blo) в 1844 году (из коллекции «George Eastman House, International Museum of Photography and Film»)



Один из первых Дагерротипов. Бульвар Тампель в Париже (Boulevard du Temple, Paris). Съёмка проводилась в период с 24 апреля по 4 мая 1838 года

1840 год



Обложка книги У. Тальбота «The Pencil of Nature» (1844)

– Уильям Генри Фокс ТАЛЬБОТ (William Henry Fox Talbot) (11.02.1800–17.09.1877) разработал метод воспроизводства фотоснимков с негативов, которые печатались на специально обработанной бумаге. То есть, изобрёл негативно-позитивный процесс. В 1844 году Уильям Тальбот издаёт первую в мире книгу с фотографическими иллюстрациями «The Pencil of Nature» (Карандаш природы).

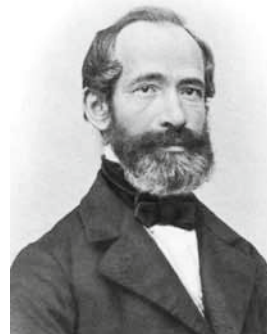


Фотоиллюстрации из книги У. Тальбота «The Pencil of Nature» (1844)



Портрет Уильяма Тальбота. Фотография Джона Моффата (John Moffat) (1864)

1846 год



Carl Fridrih Zeiss

– **Карл Фридрих ЦЕЙС** (Carl Fridrih Zeiss) (11.09.1816–03.12.1888) – немецкий оптик-механик открывает в Йене (Jena) собственную мастерскую. Первые изделия – линзы и простые, «ординарные» микроскопы, дававшие увеличение до 120 крат.

1853 год

– Австрийский барон Франц фон УХАТИУС (Franz Freiherr von Uchatius)



Franz Freiherr von Uchatius

(20.10.1811–04.06.1881) впервые начал проецировать движущиеся картинки. Он придумал проекционный стробоскоп – аппарат для показа живых изображений, соединивший в себе стробоскопический круг (Stroboscopic Discs) Симона фон Штампфера (Simon von Stampfer) (26.10.1792–10.11.1864) и «Волшебный фонарь» Кирчера. Созданный Ухатиусом стробоскоп имел до 100 изображений, мелькавших в течение 30 секунд, то есть за одну секунду сменялось три-четыре изображения.

1853 год

– Немецкий математик **Вильгельм РОЛЛМАН** (Wilhelm Rollmann) (1821–1890) предложил использовать метод цветных анаглифов для получения неподвижных стереоскопических изображений.

1869 год

– 6 апреля американский изобретатель **Джон Уэсли ХАЙАТТ** (John Wesley Hyatt) (28.11.1837–10.05.1920) запатентовал «**Celluloid**» (**Целлулоид**).

1870 год

– 16 марта **Генри ХЕЙЛ** (Henry Heyl) продемонстрировал в Филадельфии «**Phasmatrope**» (**Фазматроп**) – устройство, которое проецировало на экран серию отдельных фотографий (три серии из шести последовательных фаз движения вальсирующей пары), фиксирующих последовательные фазы движения. Главное отличие аппарата Хейла от устройства Ухациуса состояло в том, что рисунки фаз движения заменялись на фотографии, снятые с живыми людьми. На первой демонстрации «живых фотографий» Хейл заработал 650 долларов.

1876 год

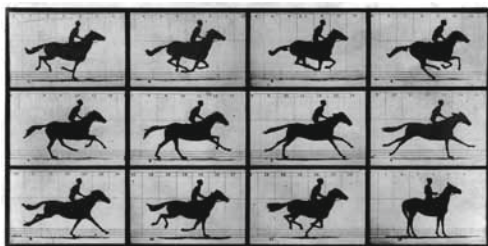
– Французский художник и изобретатель **Шарль-Эмиль РЕНО** (Charles-Emile Reynaud) (08.12.1844–08.01.1918) изобрёл проектор, названный «**Praxinoscope**» (**Праксиноскоп**). Рено соединил «Зоотроп» с «Волшебным фонарём» и усовершенствовал его. Это позволило осуществить проекцию движущихся изображений на экран и организовать массовый просмотр программы. Шарль Рено демонстрировал иллюминированные пантомимы в своём Оптическом театре в Париже. Для своих первых мультипликаций он использует полотняную ленту со вставленными в неё рисунками-кадрами размером 50x40 мм на желатиновых плёнках шириной 65 мм. Сеанс продолжался 15 минут. Каждый фильм состоял из полутора тысяч картинок (подробнее см. «Первые в анимации», МТК № 13, 2009).

1877 год



Диск «Зоопраксископ» Мэйбриджа

– Первые моментальные снимки непрерывного движения были сделаны 12-ю камерами, стоящими рядом, английским фотографом **Эдвардом МЭЙБРИДЖЕМ** (Eadweard James Muybridge) (09.04.1830–08.05.1904). В 1879 году изобрёл «**Зоопраксископ**» (**Zoopraxiscope**) – аппарат для демонстрации движущихся фотоизображений на прозрачном диске.



Фотосерия движения лошади Мэйбриджа (1878)

1877 год

– **Томас Алва ЭДИСОН** (Thomas Alva Edison) (11.02.1847–18.10.1931) изобретает цилиндрический «**Phonograph**» (**Фонограф**) – первое в мире устройство для звукозаписи и звуковоспроизведения;



Томас Эдисон с первым образцом Фонографа (1878)



Фонограф Эдисона (1899)



Серийный фонограф Эдисона

– американский изобретатель **Эмиль БЕРЛИНЕР** (Emile Berliner) (20.05.1851–03.08.1929) получил патент на **угольный микрофон**.

1882 год

– Французский физиолог, член Парижской академии наук **Этьен-Жюль МАРЕЙ** (Etienne Jules Marey) (05.03.1830–15.05.1904) изобрёл фотокамеру, имевшую форму ружья, так называемую «**Фотографическую винтовку**», которая способна была запечатлеть последовательность 12 снимков на диске, вращавшемся при нажатии на затвор.



Фотографическая винтовка Марейя

Продолжение следует