

№10 СОДЕРЖАНИЕ



Новости, обзоры

Выставки, конференции 2



Технологии

О.А. Раев
Киносъёмка телевизионных изображений 5

С.Н. Рожков
Особенности восприятия стереоизображения в кинозале 10

Л.Г. Лишин
Сравнение различных видов носителей, используемых для записи цифровой аудиовизуальной информации и архивирования 16



В.А. Никашин, А.Н. Путилин
Графический метод формирования волнового фронта 20

Страницы истории кино

Н.А. Майоров
Цифровое восстановление раритетов Российского государственного архива кинофотодокументов 23

Н.А. Изволов
История рисованного звука в СССР 27

Т.А. Платонова
История кинематографа в экспозиции Политехнического музея 29

В.В. Перепичай, В.Ф. Гордеев, О.Н. Раев
Специальная техника для киносъёмочных процессов 30



Мастер-класс, семинары, новости SMPTE, отзывы

О.В. Андреева
Терминологический словарь по прикладной голографии 32

SMPTE Motion Imaging Journal by Thomas O. Maier, пер. В. Сычёва
Обработка цвета для цифрового кинематографа 5: Расчёт матриц, необходимых для обработки цифровых киноизображений 34

SMPTE Motion Imaging Journal by Thomas O. Maier, пер. В. Сычёва
Обработка цвета для цифрового кинематографа 6: Пример цветовой обработки в сквозном процессе 41

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 финансовой поддержке Министерства культуры Российской Федерации

Редакционный совет:
Комар Виктор Григорьевич, проф., д.т.н.
Сакварелидзе Майя Александровна, д.х.н.
Тимофеев Александр Евгеньевич, к.т.н.
Блохин Александр Сергеевич, к.т.н.
Ковалевская Нонна Сергеевна, к.т.н.
Лишин Лаврентий Григорьевич, к.т.н.
Волков Александр Сергеевич, Министерство культуры Российской Федерации

Руководитель проекта:
Костылев Олег Юрьевич

Главный редактор:
Егоров Владимир Викторович

Выпускающий редактор:
Захарова Тамара Владимировна

Арт-директор, оформление обложки:
Шишкин Владимир Геннадьевич

Вёрстка и дизайн:
Саксина Мария Васильевна
Корректор:
Сайкина Наталья Владимировна

Отпечатано в ООО «Типография ПАРАДИЗ»
Объем 6 п.л. Заказ № 1410.
Тираж 1500 экземпляров.

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

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

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



Выставки, конференции

■ С 9 по 12 сентября 2008 года в Нью-Джерси (США) прошла третья международная конференция ассоциации кинематографистов гигантского экрана (GSCA). ОАО «НИКФИ» (член GSCA) регулярно принимает участие в этих конференциях, проводя последовательную политику презентаций отечественных технологий и фильмов, создаваемых по этим технологиям. Последняя конференция была знаменательна таким приятным событием, как участие отечественного стереофильма «Чучело» в номинации «Лучший фильм года». Среди более двух десятков фильмов, созданных в 2008 году для гигантского экрана, в восьмёрку отобранных номинантов был включён и наш короткометражный фильм, который всем приглянулся изяществом технологии исполнения – стереоскопическая съёмка кукольной анимации одним цифровым фотоаппаратом.

■ С 15 по 18 сентября 2008 года в Санкт-Петербурге прошла 10-ая юбилейная международная выставка «КИНОЭКСПО-2008», на которой ОАО «НИКФИ» совместно с Министерством Культуры РФ представил свою экспозицию. Основным экспонатом являлся впервые показанный широкой общественности экспериментальный образец безочковой системы показа объёмных многокурсных изображений. Работа выполнена в лаборатории визуализации изображений (д.т.н. Ю.Н. Овечкис, д.ф.-м.н. В.Г. Елховым, Н.В. Кондратьевым).

Система предназначена для показа объёмных киноизображений в условиях предсеансового показа в фойе и кассовых залах кинотеатров, в том числе стереоскопических. Широкое применение эта система может найти в рекламном деле, учебном процессе и т.п. Для демонстрации изображения был изготовлен четырёхминутный фильм, включающий кукольную анимацию и синтезированные фрагменты с использованием специальной программы.

Помимо данной системы, на стенде также были представлены образцы экранных материалов, тест-фильмы для контроля качества изображения и звука при кинопоказе, кинотеатральный конденсаторный микрофон, материалы по стандартизации и сертификации.

Экспозицию ОАО «НИКФИ» посетил заместитель Министра Культуры РФ А.А. Голутва, который подробно ознакомился с представленными экспонатами и дал положительную оценку новым разработкам Научно-исследовательского кинофотоинститута.

■ 3 октября 2008 года в подмосковных Белых Столбах состоялось торжественное заседание, посвящённое 60-летию Госфильмофонда Российской Федерации. Строительство здания фильмохранилища было начато в 1937 году (тогда государство взяло под охрану «важнейшее из искусств»). В настоящее время в Госфильмофонде РФ собраны негативы и позитивы художественных, анимационных и научно-популярных фильмов, как отечественных, так и зарубежных. Здесь хранится самая большая по объёму и одна из лучших в мире, уникальная коллекция фильмов и других киноматериалов. Там же сосредоточена документация по фильмам: сценарии, монтажные листы, либретто, рекламные материалы, отзывы прессы, фильмографические справочники, картотеки. Госфильмофонд РФ является членом Международной организации киноархивов (ФИАФ), членом Ассоциации синематек Европы (АСЕ). В 1993 года указом президента России Б. Ельцина Госфильмофонду РФ был присвоен статус особо ценного объекта культурного наследия народов Российской Федерации.

■ 13 октября во ВНИИТРе состоялся «круглый стол» на тему: «Обеспечение контроля качества ТВ-сигналов от источников до пользователей». Организовали «круглый стол» ОАО «Всероссийский научно-исследовательский

институт телевидения и радиовещания» и Федеральное агентство по печати и массовым коммуникациям РФ. Вели заседание советник министра Минсвязи РФ С.Л. Мишенков и генеральный директор ОАО «ВНИИТР» И.С. Цирлин. Все выступающие говорили о переходе телевидения на ТВ высокой чёткости и ожидаемых трудностях, к которым необходимо подготовиться – разрабо-



тать методику измерений предполагаемых параметров, подготовить технику, разработать и изготовить измерительные приборы для контроля качества показа, обучить технический персонал. Опыт перевода аналогового изображения и звука на цифровое в кинематографе поделилась Н. Ковалевская (ОАО «НИКФИ»). О выборе и создании контента для обеспечения российских цифровых телеканалов и понижении качества сигнала при передаче его по каналам связи в сжатом виде рассказал Л. Лишин (ОАО «ВНИИТР»). Об информационной безопасности пользователей при просмотре телепрограмм говорила С. Немцова (НИЦ РИТ).

■ С 17 по 19 октября в Доме творчества кинематографистов в Репино под Санкт-Петербургом состоялась научно-техническая конференция Гильдии кинотехников РФ и Гильдии кинотехников Санкт-Петербурга, посвящённая современному состоянию и развитию кинотехники в нашей стране, а также 90-летию СПбГУКиТ (бывшего ЛИКИ).

Открыла конференцию первый проректор Санкт-Петербургского Университета кино и телевидения, профессор Г.В. Тихомирова. Она рассказала о создании на базе Университета технического инновационного центра (УТИЦ). О реформах высшего образования в России рассказал ректор СПбГУКиТ, профессор А.А. Белоусов.

О новых разработках киноаппаратуры сообщил зам. ген. директора МКБК О. Раев.

Доклад М.С. Васина, зам. гл. инженера Госфильмофонда РФ, был посвящён использованию цифровых технологий в ГФФ.

От ОАО «НИКФИ» выступили: Д. Чекалин – руководитель отдела стандартизации с докладом о методах и средствах контроля качества кинотеатрального показа, и С. Рожков – зав. лаб. стереокинематографии – об особенностях восприятия естественной объёмно-пространственной картины и стереоизображения в кинозале.

В этом году в Санкт-Петербурге была введена в строй первая очередь новой киностудии PBC (RWS – Russian World Studios), построенная по последнему слову техники. О работе и будущих планах рассказал директор новой киностудии, режиссёр, председатель Союза кинематографистов Санкт-Петербург Д.Д. Месхиев.

■ В период с 17 по 21 ноября 2008 г. в городе Сан-Паулу (Бразилия) состоялась 72-ая Генеральная сессия Международной электротехнической комиссии (МЭК, IEC) и пленарные заседания технических комитетов. Участников заседания принимал Бразильский национальный комитет МЭК (COBEI), который в этом году отмечает свой 100-летний юбилей. В работе Генеральной



сессии приняла участие российская делегация, возглавляемая заместителем Руководителя Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии С.В. Пугачёвым. В работе 100-го Технического Комитета (TC 100 – Audio, video and multimedia systems and equipment) от России участвовали специалисты ОАО «НИКФИ». Во время проведения сессии и на совещаниях технических комитетов обсуждались вопросы политики и стратегического развития в области стандартизации и сотрудничества по вопросам нормативного регулирования, рассматривались и утверждались рабочие документы и стандарты.



■ 25 ноября в Политехническом музее в Москве прошла встреча: «Летопись отечественного кинематографа», посвящённая 100-летию первого Российского художественного кинофильма. С приветственным словом к присутствующим обратилась первый заместитель Генерального директора Л.М. Кожина. Об этапах развития техники кинематографа рассказал главный научный сотрудник ОАО «НИКФИ», д.т.н., профессор В.Г. Комар. О поисках и цифровом восстановлении раритетов Российского государственного архива кинофотодокументов рассказал режиссёр и сценарист Н.А. Майоров (его выступление читайте на стр. 23). Как снимались научно-популярные фильмы и как они будили интерес молодёжи к науке и технике, говорил к.т.н., сценарист и режиссёр документального фильма дал руководитель отдела архивов и фондов киностудии ЦНФ Ю.П. Похитонов. Очень понравилось



участникам встречи выступление кандидата искусствоведения, зав. отделом истории и теории НИИ Киноискусства Н.А. Изволова (читайте на стр. 27).

■ 4 декабря в Российском государственном архиве кинофотодокументов (РГАКФД) прошли чтения, посвящённые 90-летию архивной службы России и 55-летию РГАКФД на Красногорской земле. Был показан рекламный фильм об архивной отрасли «Сохраняя время...». Более подробно, чем в Политехническом музее, о восстановлении раритетов архивных кинодокументов рассказал Н.А. Майоров. О непростой, но увлекательной архив-

ной службе России рассказал зам. директора РГАКФД Ю.В. Сафенко. Очень интересное сообщение было сделано кандидатом исторических наук Л.А. Ситниковым на тему: «Реалии реальности и реалии кино».

■ 16 декабря в Белом зале Дома Кино в Москве прошёл семинар, посвящённый новым разработкам фирмы DEDOTEC: LED-технологии в светотехническом оборудовании для мобильного и студийного применения и другие приборы бестеневого света, высокоскоростная камера KINO FLO: Vista Bean 300, Vista Single b др.

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

Объявляют 2-й конкурс детского рисунка «Кинематограф в детском рисунке»

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

НОМИНАЦИИ КОНКУРСА: КИНОСЪЁМОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ
 КИНОТЕАТР БУДУЩЕГО
 МОНТАЖНАЯ МАСТЕРСКАЯ
 МОЙ ЛЮБИМЫЙ ГЕРОЙ РОССИЙСКОГО КИНО
 ИСТОРИЯ КИНЕМАТОГРАФА

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

На обратной стороне рисунка необходимо обязательно указать: фамилию и имя автора рисунка; возраст (полное количество лет) и дату рождения автора рисунка; точный адрес с почтовым индексом; телефон с кодом города; название рисунка; желательно поместить фотографию автора рисунка.

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

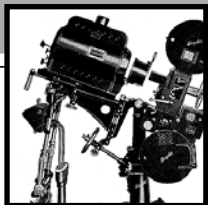
При несоблюдении условий конкурса присланные рисунки не рассматриваются.

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

Из общего количества присланных работ будет отобрано 10 лучших рисунков (по 5 в возрастных группах 11–14 лет и 15–17 лет), авторы которых станут победителями и будут награждены ценными подарками и отмечены дипломами лауреатов конкурса. Лучшие рисунки будут экспонироваться на выставке в московских кинотеатрах для детей и юношества, в Московском Доме Кино, помещены на сайте www.mkbk.ru или опубликованы в журнале «Юный художник». Все участники конкурса получат благодарственные письма от Оргкомитета.

**РИСУНКИ НА КОНКУРС ПРИНИМАЮТСЯ
 ДО 20 июля 2009 года**

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



Киносъёмка телевизионных изображений

О.Н. Раев, к.т.н., МКБК



■ Телевидение в XX столетии неотвратимо вошло в жизнь человека. Поэтому при создании новых кинофильмов очень часто в интерьере снимаемой сцены присутствует работающий телевизор. А поскольку телевизионное изображение представляет собой пространственно-временной растр, то при киносъёмке, когда происходит временная дискретизация сигналов изображения в киносъёмочном аппарате, возможно появление в записываемом киноизображении искажений I рода, проявляющихся, например, в движущихся по экрану телевизора тёмных или светлых полосах (рис. 1). Знать, почему это происходит и при каких условиях может быть обеспечена бездефектная киносъёмка, очень важно для кинооператора.

Для формирования телевизионного изображения в настоящее время наиболее часто используют такие устрой-

Рис. 1. Пример движущейся чёрной полосы, возникшей при киносъёмке (киносъёмочный аппарат 1КСР с обтюратором нижнего расположения с углом раскрытия $\alpha_0 = 150^\circ$ при частоте киносъёмки 24 кадр/с) в результате дискретизации по времени изображения телевизионного сигнала

ства, как: электронно-лучевая трубка (кинескоп), жидкокристаллический или плазменный экран. Рассмотрим каждое из этих устройств воспроизведения изображений.

1. Кинескоп

Первыми промышленно выпускаемыми устройствами, формирующими телевизионное изображение, были кинескопы. Они и до сих пор используются очень широко, а для воспроизведения чёрно-белых телевизионных изображений — чаще всего.

В кинескопе видимое телевизионное изображение создаётся при воздействии электронного луча на слой люминофора, нанесённого на внутреннюю поверхность колбы. Электронный луч, управление которым осуществляется магнитным полем, создаваемым двумя парами взаимно перпендикулярных отклоняющих катушек, генерирующих чересстрочную развёртку, пробегает построчно по слою люминофора, вызывая его свечение. Важной характеристикой люминофора является затухание яркости его свечения после прекращения возбуждения электронным пучком (рис. 2).

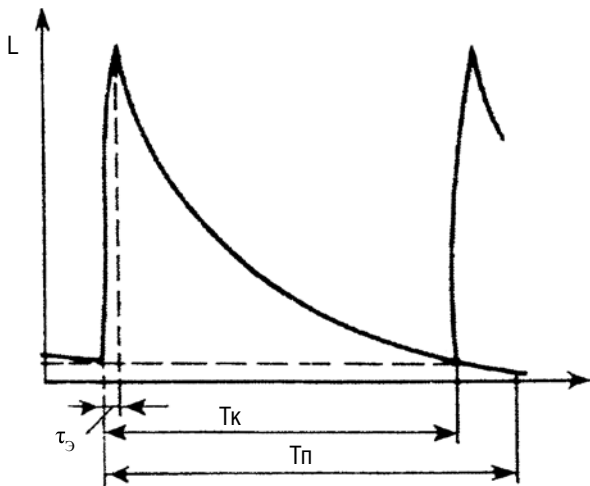


Рис. 2. Характеристика послесвечения люминофора [1]:
 L — яркость свечения участка люминофора,
 Tк — период смены кадра,
 Tп — время послесвечения,
 τ_3 — время возгорания люминофора.

Из рис. 2 видно, что возбуждение люминофора происходит в течение короткого времени воздействия на него электронного луча, а затем следует фаза плавно ослабевающего послесвечения, необходимого для снижения заметности мерцания яркости экрана. К началу следующего возбуждения яркость должна снизиться до величины, обеспечивающей исключение влияния содержания предыдущего кадра на последующий.

1.1. Частота киносъёмки 25 кадр/с

Частота смены телевизионных кадров в европейских странах принята $\nu_r = 25$ Гц. Частота смены полей полурастров, образованных совокупностью чётных и нечётных строк, вдвое превышает частоту кадров, составляя соответственно 50 Гц. После вывода раstra каждого полукадра проходит гасящий кадровый импульс $\tau_{кг}$ (обратный ход электронного луча вертикальной развёртки), длящийся от 1,2 до 2 мс. Будем считать, что $\tau_{кг} = 1,6$ мс.

Предположим: мы проводим киносъёмку телевизионного изображения киносъёмочным аппаратом с частотой $\nu_c = 25$ кадр/с, углом раскрытия обтюратора $\alpha_0 = 180^\circ$, прямоугольной характеристикой обтюрации и углом предварительного закрытия $\beta \leq \alpha_{кр} = 360^\circ \cdot 1,6 \cdot 10^{-3} \cdot 25 \text{ Гц} = 14,4^\circ$

(под углом предварительного закрытия в данном случае будем понимать угол поворота обтюратора, при котором обтюратор начинает и заканчивает перекрытие светового потока, формирующего изображение экрана кинескопа на киноплёнке или матрице).

При таких условиях киносъёмки период одного телевизионного полукадра равен времени экспонирования изображения экрана телевизора в киносъёмочном кадре, и если киносъёмочный аппарат синхронизирован с развёрткой телевизионного сигнала, т.е. электропривод киносъёмочного аппарата работает в ведомом режиме с опорой на видеосигнал, то мы произведём бездефектную киносъёмку телевизионного сигнала. Хотя и при этом углы в телевизионном изображении, с которых начинается и заканчивается экспонирование, могут оказаться затемнёнными.

Очевидно, что чем больше размеры изображения экрана кинескопа относительно размеров киносъёмочного кадра, тем труднее обеспечить соблюдение условия $\beta \leq 14,4^\circ$. Наиболее сложно обеспечить бездефектную киносъёмку, если изображение телевизионного экрана полностью вписано в кадровое окно киносъёмочного аппарата. В этом случае из-за значительного угла предварительного закрытия в изображении телевизионного экрана возникнет одна или две тёмные полосы. Одновременно часть кадра рядом с тёмной полосой будет дополнительно экспонироваться вторым телевизионным полукадром и в результате окажется более светлой.

Уменьшение или увеличение угла раскрытия обтюратора приведёт к увеличению размера тёмной или светлой полосы соответственно.

Итак, оптимальный угол раскрытия обтюратора при рассматриваемых условиях киносъёмки равен $\alpha_0 = 180^\circ$, а угол предварительного закрытия $\beta \leq 14,4^\circ$. Более подробная информация по выбору допустимых углов α_0 и β изложена в [5, 6].

1.2. Частота киносъёмки 24 кадр/с

Теперь предположим, что киносъёмка производится с частотой $\nu_c = 24$ кадр/с.

Процесс дискретизации изображения при киносъёмке может быть описан с помощью периодически смещённых дельта-функций [2–4]:

$$E_{BX}^*(t) = E'_{BX}(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_c) T_c \quad (1)$$

где $E'_{BX}(t)$ — изображение в плоскости светочувствительного элемента (киноплёнка или матрица) киносъёмочного аппарата, созданное киносъёмочным объективом;

$$T_c = \frac{1}{\nu_c} \text{ — шаг дискретизации;}$$

$E_{BX}^*(t)$ — изображение, полученное в результате дискретизации;

$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_c) T_c$ — дискретизирующая функция;

$\delta(t - nT_c)$ — дельта-функция.

В спектральном пространстве, в результате дискретизации изображения, возникает бесконечное количество смещённых спектров изображения, отстоящих друг от друга на интервалах ν_c . Согласно теореме В.А. Котельникова, без искажений передаются только частоты $\nu < \nu_c/2$, т.е. в данном случае частоты $\nu < 12$ Гц. Поэтому частотный спектр смены телевизионных полукадров, до дискретизации изображения в киносъёмочном аппарате состоявший из одной частоты $\nu_T = 50$ Гц, после дискретизации будет содержать бесконечное число частот, определяемых следующим уравнением:

$$\nu_T^* = \nu_T - n\nu_c \quad 2)$$

где n — целое число от $-\infty$ до ∞ .

Из всех частот ν_T^* нас интересуют только те, которые имеют минимальное значение. В данном случае, это частота $\nu_T^* = 2$ Гц, получаемая из уравнения 2) при $n = 2$. Действительно, частота 2 Гц соответствует медленному смещению начала развёртки телевизионного раstra относительно начала экспонирования кинокадра. В результате в киносъёмочном изображении (если угол раскрытия обтюратора киносъёмочного аппарата $\alpha_0 < 180^\circ$ или угол предварительного закрытия $\beta > 14,4^\circ$) зритель увидит в изображении экрана работающего телевизора тёмную полосу (рис. 1), которая медленно, с частотой 2 Гц, периодически проходит по экрану телевизора.

Размер тёмной полосы для частоты киносъёмки 24 кадр/с определяется углом раскрытия обтюратора α_0 , углом предварительного закрытия β , длительностью гасящего кадрового импульса τ_{kf} и скоростью движения полосы по экрану телевизора.

Чёрная полоса всегда наклонна, угол наклона полосы зависит от направления движения кромок обтюратора относительно строк телевизионного раstra. Если кромки обтюратора движутся вдоль направления строк телевизионного раstra, то наклон полос максимален, и наоборот, если кромки обтюратора движутся перпендикулярно строкам телевизионного раstra, то он минимален. Направление движения электронного луча от строки к строке относительно направления движения кромок обтюратора определяет, в какую сторону наклонена полоса.

При уменьшении угла раскрытия обтюратора ширина полосы будет увеличиваться. Увеличение угла раскрытия обтюратора приведёт сначала к уменьшению ширины тёмной полосы и затем вместо тёмной полосы появится светлая полоса за счёт частичного наложения на изображение текущего телевизионного полукадра изображения последующего полукадра.

1.3. Частота киносъёмки меньше 24 кадр/с

При уменьшении частоты киносъёмки размер тёмной полосы будет уменьшаться, и одновременно начнёт

формироваться светлая полоса, прилегающая к тёмной, скорость движения полос по экрану телевизора будет возрастать.

При частоте киносъёмки $\nu_c = 20$ кадр/с на киноплёнке запишутся две, чередующиеся от кадра к кадру, светлые полосы. При кинопроекции такое изображение будет восприниматься как мигающее в некоторой части поля экрана кинескопа. Дальнейшее уменьшение частоты киносъёмки приведёт к увеличению ширины относительно светлой полосы при изменении направления её движения на противоположное. И, наконец, при частоте киносъёмки $\nu_c = 16,67$ кадр/с полоса окажется неподвижной, занимая примерно половину экрана кинескопа. Далее процесс изменения скоростей и направления движения полосы будет повторяться в рассмотренном выше порядке.

Таким образом, при частотах киносъёмки $\nu_c = \frac{\nu_T}{n}$

телевизионное изображение в кинофильме будет восприниматься следующим образом: часть экрана кинескопа будет иметь нормальную освещённость, а вторая часть — более яркую. А при частотах киносъёмки $\nu_c = \frac{\nu_T}{n+0,5}$ зритель будет воспринимать телевизионное изображение мигающим по участкам поля экрана кинескопа. Во всех остальных случаях наблюдается движущаяся тёмная или светлая полоса.

1.4. Частота киносъёмки больше 25 кадр/с

При увеличении частоты киносъёмки тёмная полоса будет увеличиваться. Затем при частоте киносъёмки $\nu_c = 33,33$ кадр/с положение тёмной полосы будет чередоваться от кадра к кадру, что воспринимается зрителем при кинопоказе как мигающее изображение экрана кинескопа.

При дальнейшем увеличении частоты киносъёмки направление движения полосы изменится на противоположное. Скорость её движения станет уменьшаться, а ширина увеличиваться.

И, наконец, при киносъёмке с частотой 50 кадр/с только на половине телевизионного экрана кинозритель будет видеть телевизионное изображение, остальная часть экрана телевизора будет тёмной.

1.5. Частота телевизионных кадров 60 кадр/с

Эта частота соответствует американскому стандарту телевидения. При киносъёмке такого телевизионного изображения киносъёмочным аппаратом с частотой 24 кадр/с, согласно уравнению 2), в киноизображении появятся ложные частоты, равные ± 12 Гц. Это означает, что на соседних кинокадрах будет формироваться чередующееся от кадра к кадру положение светлой полосы, что при кинопоказе будет восприниматься зрителем как мигание яркости участков изображения на экране кинескопа.

1.6. Телевидение высокого качества

Для улучшения качества телевизионного изображения вместо стандартного разложения телевизионного кадра

на 625 строк (европейский стандарт) или 525 строк (американский стандарт) используют разложение на 1125 и 1250 строк (стандарты ТВЧ). Однако количество строк в телевизионном кадре — характеристика дискретизации изображения по пространственной частоте, которая на дискретизацию по времени никак не влияет. Поэтому увеличение количества строк в телевидении высокого качества и изменение формата кадра принципиально в рассматриваемом вопросе ничего не меняет.

Изменения могут произойти только при повышении частоты вывода телевизионных растров. Это изменение особенно необходимо при наблюдении телевизионных изображений больших размеров с малых расстояний. При этом, какая используется развёртка — чересстрочная или полная, значения не имеет. Технически это осуществляется в телевидении высокого качества за счёт применения мультиплексоров, повышающих частоту воспроизведения изображения в два раза.

В этом случае, если частота телевизионных кадров составляет 100 Гц, а киносъёмка производится с частотой 24 кадр/с, то согласно уравнению 2) в киноизображении экрана кинескопа появится ложная частота, равная 4 Гц. Каждый киносъёмочный кадр будет экспонироваться двумя полными телевизионными растрами и небольшой частью третьего телевизионного растра. Поэтому киноизображение телевизионного сигнала будет восприниматься почти как бездефектное, хотя и имеющее немного более светлую или тёмную (в зависимости от значения угла раскрытия и угла предварительного закрытия обтюратора) полосу, движущуюся с частотой 4 Гц.

2. Жидкокристаллические экраны

Жидкокристаллический экран представляет собой матрицу, одиночный элемент которой показан на рис. 3. Свет 1 направляется на поляризационный фильтр 3, который пропускает только часть света, поляризованную в одной плоскости. Этот поляризованный свет попадает на жидкокристаллический материал 7, который поворачивает плоскость поляризации света на 90° . А поскольку плоскость поляризации выходного поляризационного фильтра 3 (на рис. 3 — правый) развёрнута относительно входного поляризационного фильтра также на 90° , то свет практически без потерь проходит через выходной поляризационный фильтр. Если же на полупрозрачные электроды 5 подать какой-либо электрический потенциал, то жидкокристаллический материал изменит угол поворота плоскости поляризации света, в результате чего новая плоскость поляризации света будет отличаться от плоскости поляризации выходного поляризационного фильтра 3 и, следовательно, изменится количество света, проходящего через данный элемент матрицы жидкокристаллического экрана.

Управляя разностью потенциалов между полупрозрачными электродами 5, можно осуществлять модуляцию светового потока. При этом свет, проходящий через эле-

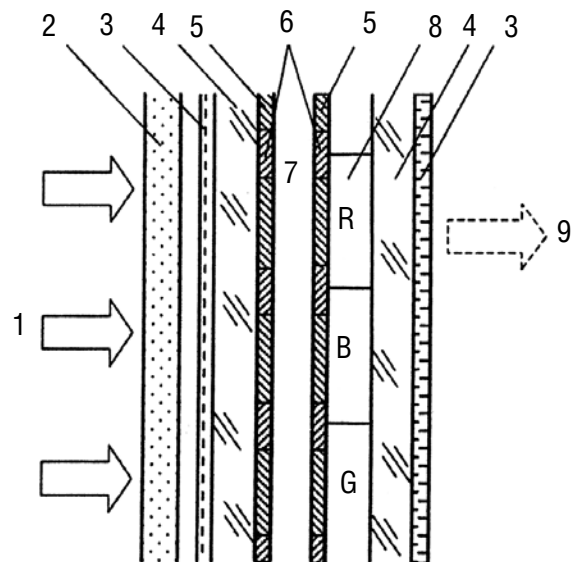


Рис. 3. Принцип работы жидкокристаллического экрана [1]:
1 — световой поток, 2 — рассеиватель, 3 — поляризационный фильтр, 4 — стекло, 5 — полупрозрачные электроды, 6 — электроды адресации и управления, 7 — жидкокристаллический материал, 8 — цветные светофильтры, 9 — элемент изображения

мент матрицы жидкокристаллического экрана, постоянен в течение длительности одного телевизионного растра и изменяется практически мгновенно при переходе к следующему растру.

Поэтому при киносъёмке интерьеров, в которых расположен работающий телевизор с жидкокристаллическим экраном, в киноизображении телевизионных сигналов заметных зрителю искажений I рода не возникнет.

3. Плазменные экраны

Плазменные экраны, как и жидкокристаллические, представляют собой матрицу, каждый элемент которой работает следующим образом. К прозрачным для света электродам 3 (правым на рис. 4) подводится напряжение, в результате чего между ними происходит поверхностный разряд, приводящий к ионизации газа и образованию плазмы 4, которая, как известно, является источником ультрафиолетового излучения. Воздействие ультрафиолетового излучения на люминофор приводит к его свечению в области красного, зелёного и синего цвета (в зависимости от материала люминофора), которое и формирует элемент 7 выходного изображения.

В такой конструкции плазменного экрана яркость каждого элемента матрицы остаётся постоянной. Модуляция интегральной яркости свечения элемента матрицы в пределах одного телевизионного растра и, следовательно, формирование полутонов в телевизионном изображении осуществляется за счёт изменения времени свечения элемента матрицы. Таким образом, элементы матрицы плазменного экрана начинают излучать

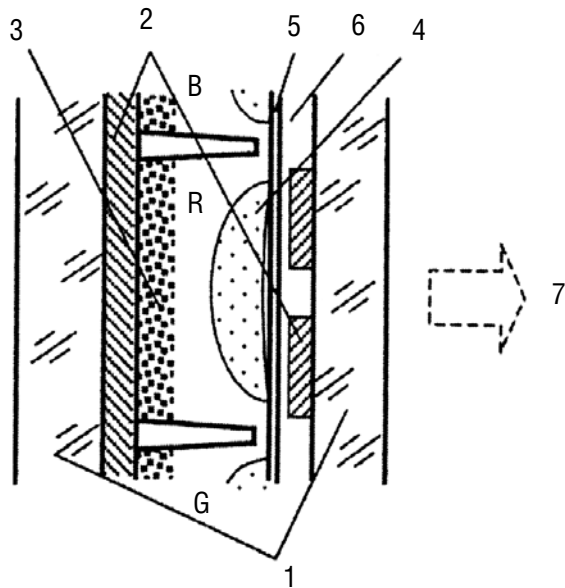


Рис. 4. Принцип работы плазменного экрана [1]:

- 1 — стекло, 2 — электроды адресации и управления,
3 — люминофор, 4 — плазма, 5 — защитный слой,
6 — диэлектрик, 7 — элемент изображения

свет после подачи необходимого напряжения на электроды адресации и управления, но светят они разное время: элементы матрицы, соответствующие наиболее ярким участкам телевизионного изображения, светятся практически в течение всего времени телевизионного кадра, а элементы матрицы, соответствующие тёмным участкам телевизионного изображения, светят очень короткое время.

Поэтому при киносъёмке телевизионного изображения, формируемого плазменным экраном, в результате дискретизации изображения по времени будут возникать искажения изображения, проявляющиеся в разных изменениях воспринимаемой зрителем яркости разных элементов матрицы, т.е. к появлению мигания разных участков телевизионного изображения. Возможно появление полос на экране телевизора, но с расплывчатыми, изменяющимися границами.

Выводы

1. При киносъёмке (если в кадре присутствует работающий телевизор) всегда происходит искажение телевизионного изображения, проявляющееся в виде появления неподвижных или движущихся по экрану телевизора тёмных или светлых полос, мигания участков телевизионного изображения, пропадания части телевизионного изображения. Полностью устранить появление этих дефектов при использовании существующих технических средств киносъёмки и воспроизведения телевизионного изображения невозможно.

2. Меньше всего искажений, вызываемых дискретизацией изображения по времени в киносъёмочном аппарате, даёт киносъёмка телевизионного изображения, формируемого телевизором с жидкокристаллическим экраном. Поэтому при подготовке сцены для киносъёмки рекомендуется использовать именно такие телевизоры.

3. Оптимальными параметрами киносъёмочного аппарата для проведения бездефектной киносъёмки любых типов телевизионных экранов являются угол раскрытия обтюратора $\alpha_0=180^\circ$ и угол предварительного закрытия изображения телевизионного экрана на кинокадре $\beta \leq 14,4^\circ$.

4. Оптимальным соотношением частот киносъёмки и телевизионного сигнала можно считать

$$v_c = \frac{v_T}{n+0,5}$$

(телевизионное изображение воспринимается мигающим по участкам поля экрана телевизора)

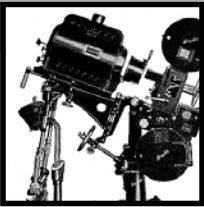
или
$$v_c = \frac{v_T}{n}$$

(часть изображения экрана телевизора имеет нормальную освещённость, а другая часть — стабильно более яркую), где n — целое число больше 1,0.

Именно поэтому при киносъёмке с частотой 24 кадр/с телевизионного изображения с американским стандартом смены полей полурастров $V_T = 60$ Гц искажения проявляются в существенно меньшей степени, чем при киносъёмке с той же частотой телевизионного изображения при частоте смены полей полурастров $V_T = 50$ Гц. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков Р.Е. Основы телевидения и видеотехники. М.: Горячая линия—Телеком, 2006.
2. Гребенников О.Ф. Основы записи и воспроизведения изображения (в кинематографе). М.: Искусство, 1982.
3. Гребенников О.Ф., Тихомирова Г.В. Основы записи и воспроизведения информации (в аудиовизуальной технике): Учебное пособие. СПб.: Изд. СПбГУКИТ, 2002.
4. Игнатъев Н.К. Дискретизация и её приложения. М.: Связь, 1980.
5. Раев О.Н. Методика проектирования обтюраторов киносъёмочных аппаратов: Обзор. М.: НИКФИ. Вып. 5(112), 1989.
6. Раев О.Н., Чесноков В.Н. Киносъёмка интерьера с телевизионным изображением. Техника кино и телевидения, 1986, № 1. С. 11–16.



Особенности восприятия стереоизображения в условиях кинозала

С.Н. Рожков, заведующий лабораторией стереокинематографа ОАО «НИКФИ»

■ При просмотре обычного (двухмерного) фильма зритель рассматривает изображение на плоскости экрана, достраивая объёмно-пространственную картину за счёт монокулярных факторов пространственного зрения (линейная перспектива, различные видимые размеры известных объектов, распределение светотеней, степень резкости по глубине кадра и др.).

Стереоскопическое изображение позволяет включить и сделать основными для восприятия трёхмерной картины бинокулярные факторы пространственного зрения, в первую очередь такие, как различие бинокулярных параллаксов¹ для разноудалённых объектов и степень напряжения глазных мышц, изменяющих угол конвергенции² при рассматривании предметов на разных расстояниях.

Работа зрительной системы человека при наблюдении реальной объёмно-пространственной картины и при сепарированном восприятии изображений стереопары на экране имеет ряд известных отличий. Чтобы стереоизображение воспринималось с минимальной нагрузкой на зрительную систему, эти отличия следует знать, учитывать и сводить их к минимуму. Однако на практике эти отличия не всегда принимаются во внимание, поэтому представляется целесообразным рассмотреть в совокупности ряд факторов, связанных с особенностями работы основных механизмов бинокулярного зрения и с условиями отображения стереопары на экране.

Работа зрительной системы в естественных условиях и при рассматривании стереопары

Рассматривая какой-либо объект в реальном пространстве без перевода взора на другой, расположенный существенно ближе или дальше рассматриваемого, мы чаще всего не замечаем, что этот другой объект, как правило, двоится. Каждый может убедиться в этом, проделав простой опыт.

Разместим перед собой вертикально два карандаша, один — на расстоянии вытянутой руки, а второй — на половине этого расстояния таким образом, чтобы при рассматривании ближнего карандаша поочерёдно левым и правым глазом дальний наблюдался по разные его стороны. Тогда при рассматривании двумя глазами дальнего карандаша будет двоиться ближний, а при рассматривании ближнего — дальний [2]. Если, сохраняя точку фиксации взгляда на ближнем карандаше, сместить дальний двоющийся карандаш немного в сторону и начать его постепенно приближать, нетрудно увидеть, что, начиная с некоторого расстояния, двоение прекращается.

Это означает, что дальний карандаш оказался в области пространства, называемой зоной стереоскопической глубины, в пределах которой объекты воспринимаются без двоения. Немецкий исследователь Герман Люшер [8, 10] в 1930 г. опытным путём установил, что фузионный³ угол (зона стереоскопической глубины в угловой мере) составляет в среднем 70' (рис. 1). На сетчатке глаза этот угол соответствует в линейной мере среднему диаметру центральной ямки жёлтого пятна (не более 0,4 мм)⁴. Исходя из величины фузионного угла, несложно определить, что при рассматривании предмета, находящегося, например, в метре от наблюдателя, другие предметы будут восприниматься без двоения в диапазоне расстояний от 0,87 до 1,2 м.

По мере удаления точки фиксации взгляда глубина зоны увеличивается, и при рассматривании объекта, отстоящего от наблюдателя на расстоянии 6 м, все объекты, расположенные по направлению взора в диапазоне расстояний от 3,2 м до бесконечности, двоиться не будут.

В реальном пространстве изменение расстояния до точки фиксации взгляда сопровождается произвольными, но согласованными между собой действиями двух групп глазных мышц. Одна группа изменяет угол конвергенции, устанавливая на сетчатках глаз нулевой параллакс между сопряжёнными точками, отображающими точку фиксации

¹ Бинокулярный параллакс — различие в относительном расположении на сетчатках глаз двух точек, находящихся на разном расстоянии от наблюдателя, обусловленное неодинаковым положением глаз относительно рассматриваемых точек.

² Конвергенция — свойство зрительной системы произвольно сводить зрительные оси при переводе взгляда на близкие объекты; сведённое положение зрительных осей, направленных на точку фиксации взгляда.

³ Фузия — процесс слияния мозгом изображений на сетчатках двух глаз в единый образ.

⁴ Приведённые в статье данные на практике могут существенно отличаться в ту или иную сторону в зависимости от условий рассматривания и индивидуальных свойств зрительной системы наблюдателя.

взгляда, другая — фокусирует изображения этих точек (явление аккомодации). После этого объекты, оказавшиеся в новой зоне стереоскопической глубины, воспринимаются без двоения, а оказавшиеся за её пределами и двоющиеся «отключаются» мозгом от восприятия.

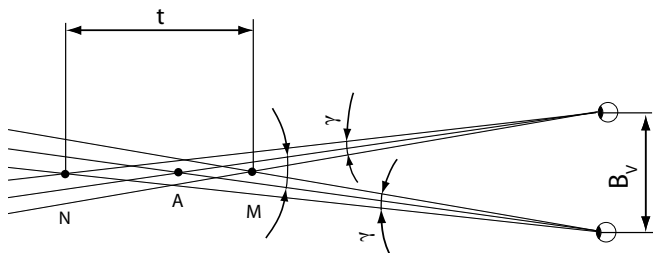


Рис. 1. Зона стереоскопической глубины (з.с.г.)
 А — точка фиксации взгляда; М, N — ближняя и дальняя точки з.с.г.; t — протяжённость з.с.г.; B_v — базис зрения; γ — фузионный угол.

В процессе восприятия реальных объектов человек, произвольно или непроизвольно, сам полностью управляет механизмами своей зрительной системы. При восприятии стереоизображения положение меняется — в работу механизмов бинокулярного зрения «вмешивается» плоскость изображений стереопары. Если параллакс между парой рассматриваемых сопряжённых точек равен нулю, это означает, что точки на плоскости стереопары совмещены в одну и зрительные оси направлены на эту точку — точку фиксации взгляда. Вне экрана реальных точек фиксации взгляда нет, они могут быть лишь виртуальными, представляя собой точки пересечения зрительных осей, направленных на сопряжённые точки в изображениях стереопары (рис. 2).

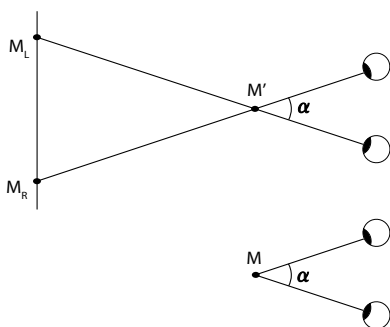


Рис. 2. Восприятие точки в реальном пространстве и её изображения в стереопаре
 М — точка, наблюдаемая в пространстве; M_R, M_L — сопряжённые точки; M' — воспринимаемое изображение точки; α — угол конвергенции.

При последовательном рассматривании объёмных изображений разноудалённых объектов степень аккомодации обоих глаз остаётся неизменной, а угол конвергенции постоянно меняется. Если в естественных условиях глазные мышцы, управляющие степенью аккомодации и конвергенции, работают взаимосвязанно,

то в процессе восприятия стереоизображений в их работе происходит принудительное рассогласование. Это вызывает повышение нагрузки на зрительную систему, что в ряде случаев становится причиной дискомфорта, особенно в тех случаях, когда степень этого рассогласования и продолжительность рассматривания значительны.

Пространство стереоизображения

В реальном пространстве мы оцениваем взаимное расположение объектов, в бинокулярном поле зрения (рис. 3), угловые размеры которого, как видно из рисунка, достаточно велики. Благодаря этому каких-либо чётких границ объёмно-пространственной картины мы не ощущаем. На восприятие стереоскопической картины в кинозале и оценку расстояний до изображений отдельных объектов существенное влияние оказывает рамка экрана, относительно границ которой (в первую очередь, боковых) чаще всего оценивается положение отдельных участков воспринимаемого стереоизображения.

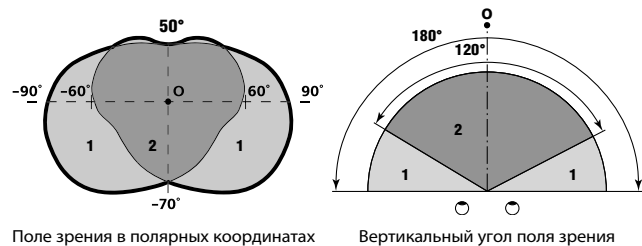


Рис. 3. Поле зрения
 1 — монокулярные зоны поля зрения; 2 — бинокулярное поле зрения; O — точка фиксации взгляда.

В отличие от естественных условий, трёхмерная картина, воспринимаемая в кинозале, формируется в пространстве стереоизображения и представляет собой общую часть двух воображаемых пирамид, вершины которых расположены в узловых точках глаз (рис. 4). Грани этих пирамид проходят через общие границы совмещённых изображений стереопары (при стереопроекции — через границы зеркала экрана), а основания

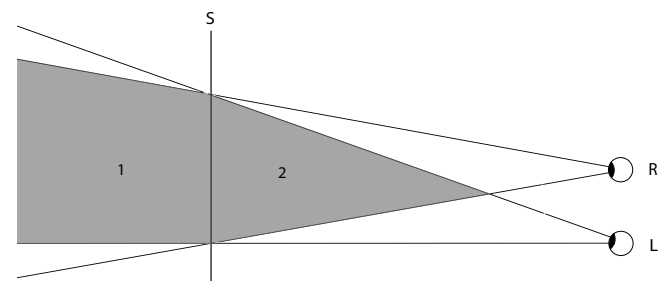


Рис. 4. Пространство стереоизображения в кинозале
 L — левый глаз; R — правый глаз; S — плоскость экрана; 1 — заэкранное пространство; 2 — предэкранное пространство

расположены за изображениями наиболее удалённых объектов. Приближённо пространством стереоизображения можно считать условную пирамиду, вершина которой расположена между глазами зрителя, а грани проходят через рамку экрана. Поверхностью экрана пространство стереоизображения разделяется на заэкранное и предэкранное. Рамка экрана выполняет функцию условного окна, через которое в зал можно что-то вбросить, просунуть, в которое может что-то влететь. Поэтому очень сложно отображать в предэкранном пространстве объекты, часть которых обрезается рамкой экрана. В процессе стереокиносъёмки оператору приходится применять различные приёмы, чтобы максимально использовать зальное пространство и в то же время строить композицию кадра так, чтобы устранить или ослабить ощущение эффекта «отжимающего действия рамки»⁵ экрана.

Протяжённость пространства стереоизображения растёт по мере увеличения диапазона положительных и отрицательных горизонтальных параллаксов и расстояния между зрителем и экраном. Конфигурация пространственной пирамиды индивидуальна для каждого зрителя и определяется расположением его места в зрительном зале. Из рис. 5 видно, что для зрителей крайних мест передних рядов пространство стереоизображения заметно искажается, что значительно снижает эффектность воспринимаемой объёмно-пространственной картины.

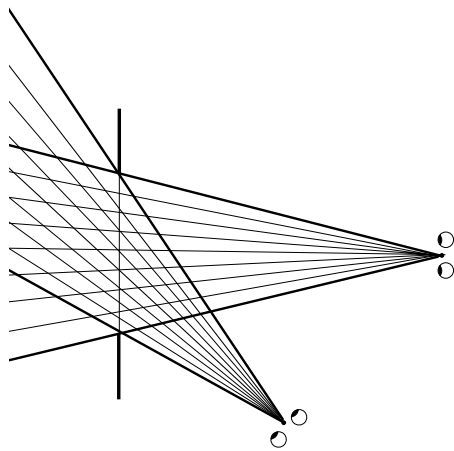


Рис. 5. Пространство стереоизображения, воспринимаемое из разных мест зрительного зала

Заэкранное пространство и положительные параллаксы

Одно из специфических требований в стереокино — необходимость ограничивать величину допустимых положительных параллаксов, то есть параллаксов между сопряжёнными точками изображений наиболее удалённых объектов.

В реальном пространстве минимальный угол конвергенции при наблюдении наиболее удалённых объектов, например, звёздного неба, близок к нулю, то есть зрительные оси практически параллельны. Точно так же мы рассматриваем изображения удалённых объектов в стереокинотеатре, если параллакс между сопряжёнными точками на экране равен базису зрения. Поэтому максимальный положительный параллакс на экране принято ограничивать этим естественным пределом. При расчёте параметров стереосъёмки за основу принимают среднестатистическую величину базиса зрения (65 мм) [1].

Для наиболее дальних участков стереоизображения допустимо некоторое увеличение значений положительных параллаксов. Пределы этого увеличения должны быть такими, чтобы фузионное слияние таких участков происходило без дивергенции⁶.

Величину максимального положительного параллакса можно определить по данным Г. Люшера, исходя из того, что точка фиксации взгляда лежит на биссектрисе фузионного угла, равного 70'. Поэтому при параллельных зрительных осях без двоения воспринимаются сопряжённые участки стереопары, параллаксы которых допускают их рассматривание под углом, не превышающим половину фузионного угла (рис. 6). Величина допустимого положительного параллакса может быть вычислена по формуле:

$$p_{\max}^s = B_v + L_v \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}, \quad 1)$$

где: p_{\max}^s — допустимый положительный параллакс на экране;

B_v — базис зрения;

L_v — расстояние от экрана до глаз зрителя в первом ряду (как наиболее критичное);

γ — фузионный угол.

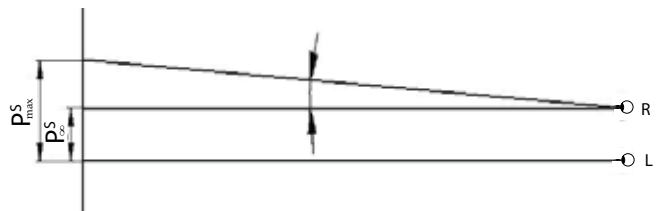


Рис. 6. Резерв увеличения допустимого положительного параллакса на экране

p_{∞}^s — параллакс бесконечности; p_{\max}^s — допустимый положительный параллакс

Принимая, что расстояние до первого ряда в стереозале не должно быть меньше высоты изображения, то для экрана с размерами 8,5x4,8 м при расстоянии 5 м от экрана до первого ряда зрительских мест и фузион-

⁵ Отжимающее действие рамки — феномен восприятия стереоизображения, заключающийся в том, что отдельные участки изображений объектов, сформированные в предэкранном пространстве и «обрезанные» границами экрана, как бы отжимаются от наблюдателя и воспринимаются на более дальних расстояниях, чем это обусловлено параметрами стереопары. Рассматривание таких участков может вызывать ощущение дискомфорта.

⁶ Дивергенция — взаимно расходящееся положение зрительных осей.

ном угле, равном 70', расчётная величина p_{\max}^s составит 116 мм, что на 80% превышает нормированную величину положительного параллакса.

Сразу же напрашивается вывод о возможности пропорционально увеличить линейные размеры экрана. Однако следует учитывать, что практически в каждом стереофильме есть планы с отклонениями от нормированных параметров стереосъёмки. При расчётных размерах экрана эти отклонения, как правило, невелики и практически неощутимы, но при увеличении масштабов изображения рассматривание таких планов может сопровождаться повышенной нагрузкой на зрительную систему.

Предэкранное пространство и отрицательные параллаксы

Если для отображения объектов в заэкранном пространстве достаточен диапазон положительных параллаксов от 0 до 65 мм, то диапазон отрицательных параллаксов, необходимый для формирования участков изображений в пространстве зала, значительно шире. Степень выхода воспринимаемой точки в предэкранное пространство (рис. 7) характеризуется соотношением:

$$q = \frac{L_M}{L_V}, \quad (2)$$

где: q – коэффициент выхода в предэкранное пространство;

L_M – расстояние от экрана до точки пересечения зрительных осей;

L_V – расстояние от экрана до глаз зрителя.

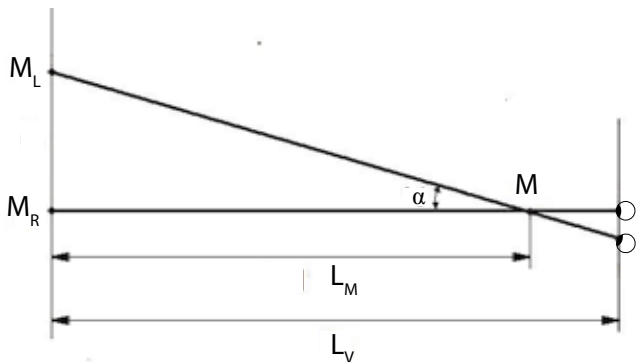


Рис. 7. Формирование точки в предэкранном пространстве M_R, M_L – сопряжённые точки стереопары на экране; M – воспринимаемое изображение; L_V – расстояние от экрана до глаз зрителя; L_M – расстояние от экрана до воспринимаемого изображения точки; α – угол конвергенции.

Связь коэффициента q с величиной отрицательного параллакса на экране, представленная на рис. 7, определяется формулой:

$$p_s = \frac{q B_V}{q - 1}, \quad (3)$$

где: p_s – величина отрицательного параллакса между сопряжёнными точками на экране;

B_V – базис зрения.

Нетрудно заметить, что существенное увеличение коэффициента выхода в предэкранное пространство происходит при значительном росте значений отрицательных параллаксов. Например, выход в зал на три четверти расстояния от экрана до зрителя ($q = 0,75$) обеспечивается при параллаксе, равном 195 мм. Коэффициенту $q = 0,9$ соответствует параллакс 545 мм, для коэффициента $q = 0,95$ параллакс должен составить 1235 мм.

Величину угла конвергенции при рассматривании точки, сформированной в предэкранном пространстве, можно определить по формуле:

$$\alpha = \arctg \frac{p_s + B_V}{L_V}, \quad (4)$$

где: α – угол конвергенции.

С помощью этой формулы можно определить, например, что зрителю первого ряда для восприятия точки, формируемой в зальном пространстве с коэффициентом выхода 0,95, потребуется свести зрительные оси до угла 16°.

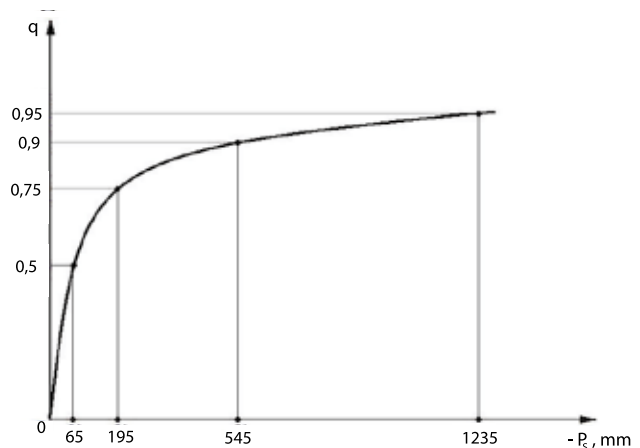


Рис. 8. Зависимость степени выхода в зал от величины отрицательного параллакса

В реальных условиях предельный угол конвергенции превышает 30° (точка фиксации взгляда в 10 см от глаз соответствует углу 32°). В стереозале (при нарушении аккомодационно-конвергентной связи) угол конвергенции, вызывающий ощущение дискомфорта уже через нескольких секунд, в значительной степени ограничен и уменьшается по мере увеличения расстояния до экрана. Для зрителя, находящегося в 20 м от экрана, он составляет около 10°.

Вертикальный параллакс

Одной из причин нарушения комфортности восприятия стереоизображения может стать вертикальный параллакс — взаимное смещение по вертикали изображений стереопары или их отдельных участков (рис. 9). В естественных условиях или при просмотре плоскостных изображений зрительные оси всегда лежат в одной

плоскости, и вертикальный параллакс на сетчатках глаз не возникает, исключая случаи, когда у наблюдателя имеют место определённые нарушения стереоскопического зрения.

Вертикальный параллакс может быть следствием технических ошибок при подготовке к стереосъёмке или при неточном совмещении изображений стереопары на экране. Отсутствию вертикального параллакса в центре экрана и его наличие у верхней и нижней границ свидетельствует о различном масштабе увеличения левого и правого изображений. Неправильная взаимная ориентация изображений стереопары (например, из-за бокового наклона одного из проекторов) приводит к появлению

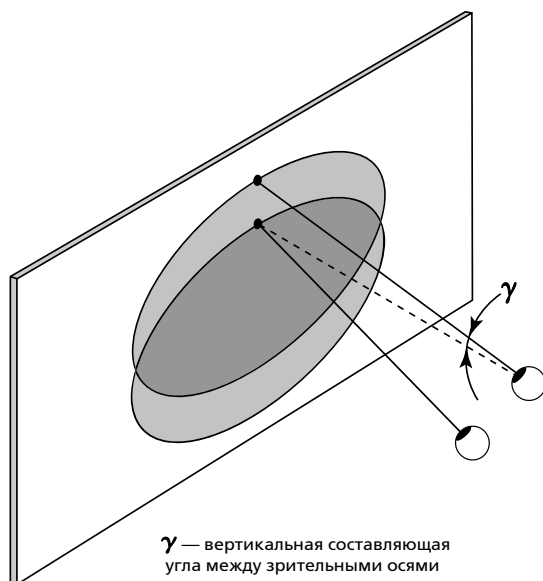


Рис. 9. Рассматривание на экране стереопары с вертикальным параллаксом

вертикальных параллаксов у боковых границ экрана.

В некоторых стереофильмах иногда можно обнаружить взаимный вертикальный параллакс между участками изображений, полученных при стереосъёмке в две экспозиции или при комбинированной печати. Такого рода параллаксы значительно заметнее, чем одинаковые для всех участков стереопары.

При стереокинопроекции допустимый угол вертикального параллакса принимают равным $20'$. Так, если первый ряд зрительских мест размещён в 5 м от экрана, то вертикальный параллакс более 3 см недопустим, поскольку может стать одной из причин стереоскопического дискомфорта.

Яркость изображения при стереокинопоказе

Одна из главных проблем стереокинопроекции — обеспечение необходимого уровня яркости воспринимаемого стереоизображения.

Для стереопроекции обычно применяется стандартное проекционное оборудование, оснащённое техниче-

скими средствами для сепарации изображений стереопары. Если демонстрацию стереофильмов осуществлять с одного проектора, причём того же самого, который используется для обычных видов кинопоказа, уровень воспринимаемой яркости при стереокинопроекции в большинстве случаев будет падать до нижнего предела нормы яркости для обычных фильмов, или окажется ещё ниже. Это будет происходить, так как потери при разделении и сепарации светового потока для каждого глаза зрителя составят около 80%.

А чем ниже воспринимаемая яркость стереоизображения, тем сильнее воздействуют на зрительную систему факторы, связанные с особенностями отдельного предъявления изображений стереопары и дополнительной нагрузкой на зрительную систему.

Выбор проекционного оборудования для стереокинотеатра или определение возможности использования для демонстрации стереофильмов в залах с уже установленным проекционным оборудованием должны производиться с учётом обеспечения требуемых яркостных характеристик при стереопоказе.

При использовании систем стереопроекции, предусматривающих синхронную проекцию с двух кино- или видеопроекторов в залах, оснащённых недеполяризующими металлизированными экранами с направленными характеристиками отражения, яркость удаётся существенно повысить. Однако такие экраны требуют более жёстких ограничений для зрительской зоны, так как для крайних мест, особенно в передних рядах, значительно увеличивается неравномерность яркости и снижается её общий уровень.

Границы изображения, размеры экрана, его форма и расположение

Увеличение линейных размеров зеркала экрана (с учётом ограничений, изложенных выше) делает воспринимаемое стереоизображение более выразительным и более эффектным. С ростом угловых размеров увеличивается пространство стереоизображения, границы экрана раздвигаются в сторону зон периферийного зрения, воздействие эффекта отжимающего действия рамки уменьшается. За счёт расширения диапазона горизонтальных параллаксов растёт протяжённость воспринимаемой объёмно-пространственной картины и увеличивается степень выхода в зал изображений объектов, формируемых в предэкранном пространстве.

Кромки зеркала экрана должны служить общими границами для изображений стереопары. Если боковая граница одного из изображений не доходит до боковой стороны рамки экрана (между рамкой и изображением есть чёрная вертикальная полоса), то граница стереоизображения воспринимается с параллаксом, отличным от нулевого. Она «отрывается» от плоскости экрана, и прилегающие к этой стороне экрана участки с нулевым параллаксом будут восприниматься за экраном или перед ним. Пространственная картина будет искажена.

Стереοизображение будет восприниматься естественнее, если основное направление взгляда зрителя в кинозале приблизить к наиболее привычному в реальных условиях, к горизонтальному. Реализовать это можно, если зрительские места расположить амфитеатром, а нижнюю кромку экрана разместить как можно ближе к полу. Тогда нижняя кромка будет находиться ниже уровня глаз зрителя, сидящего в первом ряду, а верхняя кромка — выше уровня глаз зрителя последнего ряда. Такая компоновка экрана и зрительских мест окажется более благоприятной и для просмотра плоскостных фильмов всех традиционных форматов. Норма превышения рядов зрительских мест, безусловно, должна соблюдаться.

Металлизированные экраны с направленно-рассеивающей характеристикой отражения обеспечивают более высокую равномерность яркости, если они изогнуты по дуге с радиусом кривизны, равным $0,8 \div 0,85$ величины проекционного расстояния, что заметно улучшает равномерность освещённости экрана, что наиболее существенно для зрителей крайних мест в первых рядах.

Проведённые в НИКФИ эксперименты и опыт организации стереοкинопоказа в больших залах свидетельствуют, что увеличение ширины экрана в полтора раза (по сравнению с принятой для расчёта параметров стереосъёмки) дискомфорта не вызывает. Чтобы исключить дискомфорт при более значительном росте размеров экрана, следует уменьшить возросший диапазон положительных параллаксов. Это можно сделать путём соответствующей корректировки величины вза-

имного смещения изображений стереοпары по горизонтали. При этом должны соблюдаться требования, учитывающие особенности восприятия стереοкиноизображения, и общие требования, предъявляемые к обычной кинопроекции.

Заключение

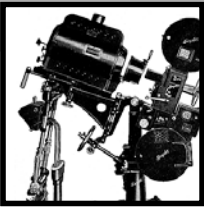
В настоящее время повысился интерес к стереοкино у зрителей, у творческих работников и продюсеров. Растёт количество снимаемых стереοфильмов и стереοзалов, оборудованных современной техникой. Сегодня, когда возможности цифровой техники открывают новые направления в технологии съёмки и демонстрации стереοфильмов и позволяют решить многие технические проблемы, организация стереοкинопоказа должна быть поднята на новую ступень.

Учитывая, с одной стороны, специфические технические требования к стереοпроекции, и, с другой стороны, то, что выполнение этих требований не ухудшает условия просмотра плоскостных фильмов в зале, оборудованном для стереοкинопоказа, за основу должно приниматься соблюдение всех норм демонстрации стереοфильмов.

Следует принимать во внимание, что стереοфильмы снимают по различным системам. У каждой из них — свои особенности, которые нужно учитывать при расчёте параметров проекции. В проектировании и оборудовании стереοкинозалов должны принимать участие специалисты, обладающие необходимыми теоретическими основами и имеющие практический опыт организации стереοкинопоказа. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Болтянский А.Г. Расчёты параметров стереοкино и фотосъёмки для проекции на экран // Техника кино и телевидения. 1957. № 5.
2. Грегг Д.Р. Опыты со зрением. М.: Мир, 1970.
3. Грегори Р.Л. Глаз и мозг. Психология зрительного восприятия. М.: Прогресс, 1970.
4. Валюс Н.А. Стереоскопия. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
5. Голдовский Е.М. Условия естественного восприятия киноизображений. М.: Всесоюзный государственный ин-т кинематографии, 1960.
6. Овсянникова Н.А. Определение величин наибольших положительных и отрицательных параллаксов при стереοпроекции на экраны различных размеров. Научно-технический отчёт. Вып. 139. Рукопись. М.: Всесоюзный научно-исследовательский кинофотоинститут, 1958. Хранится: библиотека НИКФИ.
7. Рожков С.Н., Овсянникова Н.А. Стереоскопия в кино-, фото-, видеотехнике. Терминологический словарь. М.: Парадиз, 2003.
8. Шацкая А.Н. Основы стереοфотокиносъёмки. М.: Искусство, 1983.
9. Lipton L. Foundations of the stereoscopic cinema. A study in depth. New York et al.: VNB, 1982.
10. Lüscher H. Stereoskopische Tiefenzone und Tiefenschrfenzone des Auges // Foto-Kino-Technik. 1947. № 6.
11. Enrique Criado-Sors Cortés. Understanding the Ins and Outs of 3-D Stereoscopic Cinema. SMPTE J. 2008. Vol. 117, № 4.



Сравнение различных видов носителей, используемых для записи цифровой аудиовизуальной информации и архивирования

Л.Г. Лишин, к.т.н., ОАО ВНИИТР

■ В современных телекомпаниях оперативный архив стремятся хранить на жёстких дисках серверов. Оперативный архив на подобных серверах обеспечивает широкие возможности практически мгновенного доступа к архивным материалам, их монтажа и обработки [1]. Дисковая автоматизированная библиотека (таблица 1) имеет систему управления, которая осуществляет поиск материала и перемещение дисков в считывающем устройстве. Быстрота доступа в таком архиве ниже, чем в архиве на основе сервера, но она несоизмеримо выше, чем в кассетных архивах. Жёсткие диски дают возможность записи высокоскоростных цифровых потоков, имеют высокую объёмную плотность записи, что позволяет их использовать для архивирования. Однако высокая стоимость оборудования и необходимость непрерывного обслуживания архивов с большим объёмом контента на жёстких дисках делают эти архивы нерентабельными.

Табл. 1. Характеристики роботизированных дисковых библиотек

№ п/п	Характеристики и основные параметры дисковых накопителей	ЭЛАР 6000 HCM PROSOFT	JVC MC-8600 U
1	Носитель информации	Диск	Диск
2	Вид информации	Цифра	Цифра
3	Возможность автоматизации	Да	Да
4	Возможность вещания из архива	Да	Да
5	Количество циклов просмотра	20 000	20 000
6	Вероятное время доступа, м/сек	330	500
7	Максимальная ёмкость, ТБ	5,56 двухсторонний	5,64 двухсторонний
8	Среднее время смены диска, сек	6	4,5
9	Скорость передачи данных, МБ	2,5	2,0
10	Предполагаемый срок хранения, год	40	60

В таблице 2 приведено соотношение цен хранения телевизионных программ, записанных на современных носителях, наиболее широко используемых телекомпаниями. Из таблицы видно, что ленточные цифровые носители, в числе которых LTO Ultrium, обеспечивают заметный выигрыш по цене хранения по сравнению с системами на жёстких дисках или твёрдой памяти [2].

Дисковые носители Blue-Ray имеют ряд преимуществ перед лентой. Оборудование для воспроизведения дисков проще, производство поставлено на поток, форматы

записи получили самое широкое распространение, возможен прямой и простой доступ к любой точке записанной информации. На один Blue-Ray уместается до 10 часов видеoinформации студийного качества (MPEG-2, поток до 5 Мбит/сек) или же 2 часа видеотелевидения высокой чёткости ТВЧ. Диски используются для записи новостей, передаваемых в формате HDTV. Исходный контент сжимается кодером MPEG2; форматы звука, соответственно, — AC3, MPEG1, MPEG Layer2. Максимальная скорость пересылки данных между приводом Blue-Ray и устройством обработки записываемого сигнала достигает 36 Мбит/с, что вполне достаточно для оперативного архива. Однако некоторые параметры оптических дисков Blue-Ray не позволяют использовать эти диски для долговременного хранения.

Голографические диски в настоящее время удовлетворяют требованиям, предъявляемым к носителям для архивирования. Объёмная плотность записи и скорость считывания цифровой информации с голографических

дисков значительно превосходит ленточные носители. Лидерами технологий в области голографических дисков являются InPhase (технология Tapestry) [3]. В начале 2006 года был создан прототип коммерческого рекордера. Фирма провела пробную голографическую запись и выдала в эфир телевизионные про-

граммы на канале Turner Network Television. Коммерческая телегруппа Pappas Telecasting запустила в торговом центре «Рено» автоматизированную вещательную аппаратную «Хрустальный дворец». Она полностью цифровая, HD-мультистандартная, с технологией Tapestry, интегрированная в автоматизированный архив. В 2007 году были выпущены для бытового использования голографические диски для проигрывателей с красным лазером DVD-R ($\lambda = 680$ нм) и голубым лазером DVD-B ($\lambda = 405-407$ нм). Начат выпуск рекордеров с ROM- и PCMCIA-приводами.

Табл. 2. Стоимость записи при архивировании на различных носителях

Тип носителя	Время записи на одном носителе, мин	Стоимость за единицу, руб.	Количество носителей на 1000 часов	Стоимость носителей на 1000 часов, руб.
Betacam SP	90,0	780,0	667,0	519480
Betacam Digital	124,0	2210,0	484,0	10696400
DVCam*	184,0	1170,0	326,0	381420
DVD Blue-ray	60,0	650,0	1 000,0	650000
LTO Ultrium 2 200/400	41,6**	1300,0	142,0	184600
LTO Ultrium 3	83,3**	2340,0	70,0	163800
LTO Ultrium 4	83,3	2340,0	70,0	163800
Total Storage – DS4800	90,0	69900,0	—	46600000
AJ- P2 C0016 Panasonic	32,0	50000,0	1875	17578125
SxS PRO™ SONY	16,0	10000	3750	37500000

*) Формат хранения DV25

**) С LRV и метаданными

В 2007 году компания INPHASE сообщила о подписании соглашения с компанией DSM (ФРГ) об использовании технологии Tapestry в архивах и базах данных в компаниях Deutsche Bank, ESA, Siemens Medical, Volkswagen и др., что приведёт к широкому распространению технологии записи на голографических дисках в Европе [5].

Голографический стандарт HVD базируется на разработках японской фирмы Optware[4]. В отличие от технологии фирмы INPHASE, используются диски, имеющие отражающий форматированный слой. Применение разработчиками дихроидного зеркала позволило разделить плоскости отражения опорного и кодируемого лучей. Разработка фирмы Optware даёт возможность использовать для записи и воспроизведения простую коллинеарную оптическую систему и носители, аналогичные DVD. Голографические диски в перспективе будут иметь ёмкость до 1 ТБ и выше, а скорость передачи информации достигнет 1 Гбит/сек. Запуск в серию дисков HDV произошёл в 2006 году. На первом этапе ёмкость записываемых дисков составит 200 ГБ. Начат выпуск роботизированных архивных стоек с дисками Optware, и дисками INPHASE [6], габариты которых меньше, чем ленточные кассетные архивы.

Выпускаются роботизированные устройства для автоматической установки голографических дисков в записывающие и воспроизводящие устройства, стоимость

которых аналогична стоимости роботов для установки дисков Blue-Ray .

Следует отметить дешевизну голографического носителя: HVC-карта компании Optware сравнима по размерам с кредитной картой ёмкостью 30 ГБ, имеет стоимость один доллар. Способ записи и считывания карт позволяет существенно упростить механику привода, заменив вращательное движение поступательным.

В таблице 3 приведены основные показатели носителей, применявшихся для архивирования в разные годы. Однако при появлении цифровой записи классические показатели качества становятся непригодны для сравнения. Это особенно заметно, когда цифровые потоки начинают сжимать, превращать в файлы и т.д. Поэтому для более глубокой оценки различных видов носителей автор предложил подсчитать объёмную плотность записи цифровой информации и проанализировать эволюцию этого показателя в течение последних лет.

Проблемы оцифровки архивов при переходе на цифровое телевизионное вещание в России

В XXI веке появилось два новых перспективных носителя – это голографические диски и твёрдая память. Эволюция роста объёмной плотности P_{xyz} и ряда сопутствующих факторов для этих видов носителей теоретически была проанализирована автором. Результаты расчётов приве-

Табл. 3. Характеристики основных носителей для архивирования

Характеристики накопителей	Аналоговые кассеты	Ленточный цифровой накопитель	Дисковый накопитель	Голографический накопитель
Тип носителя	Кассеты Betacam SP	Plasmon LTO Ultrium	Optic DVD-RW	Tapestry
Носитель информации	Лента	Лента	Диск	Диск
Возможность вещания	Нет	Да	Да	Да
Количество циклов	100	200	20000	100000
Время доступа	Часы	Минуты	Секунды	Секунды
Срок хранения, год	20	40	60	50
Максимальная скорость записи, Мбит/с	–	80	10	960

дены на диаграммах. Автор предлагает для оперативных архивов использовать жёсткие диски, а для архивов длительного хранения – голографические диски. В мелких компаниях, где имеются архивы со сжатым контентом, возможно использование библиотек с дисками Blue-Ray. В более отдалённой перспективе будут создаваться архивы с носителем на твёрдой памяти, выполненной по нанотехнологии, предложенной фирмой IBM.

Переход России с аналогового телевидения на цифровое вызывает ряд проблем, которые обсуждались ранее недостаточно. Значительное увеличение числа передаваемых программ в эфир телевизионных и радиовещательных программ неизбежно вызовет дефицит в контенте, что повысит интерес к архивам теле- и кинокомпаний. В настоящее время в фондах теле- и кинокомпаний хранятся десятки тысяч катушек и кассет с лентой и киноплёнкой, на них записаны аналоговые программы, которые перед выдачей в эфир необходимо оцифровать, творчески обработать и заложить в серверы. Однако, за 50 лет существования магнитофонов, видеомагнитофонов и кинопроекторов технологии, используемые для подготовки и передачи программ, значительно изменились. Давно снято с производства устаревшее оборудование для воспроизведения лент с аналоговыми записями, на котором были записаны архивы. Длительное хранение, привело к многочисленным дефектам носителей. Стоимость оцифровки хранимого фонда возрастает с каждым годом, а в аналоговой форме он становится непригодным для эфира. В результате на телецентрах и в радиодомах в государственных архивах и фондах персонал вынужден эксплуатировать цифровое и устаревшее аналоговое оборудование. Организация аппаратных для оцифровки контента требует значительных капиталовложений. Например, стоимость ремонта БВГ для воспроизведения 2-х дюймовой видеоленты с аналоговыми записями в течение всего 150 часов на старом видеомагнитофоне «Кадр ЗПМ» превышает 50 тысяч рублей, а качество оцифрованных копий порой бывает непригодно для ввода в сервер из-за большого уровня временных искажений в воспроизводимом сигнале. Заказ ленточных магнитофонов и видеомагнитофонов форматов «Q», «В» и «С» практически невозможен из-за отсутствия комплектующих и материалов для видеоголовок.

Вместе с тем большинство творческих работников считают, что при оцифровке недопустимо сжатие цифровых сигналов и требуют при архивировании записывать не сжатый цифровой поток. Это, приводит к увеличению стоимости и объёмов оцифрованных фондов. При этом неизбежно возникает вопрос: как и на какой носитель нужно оцифровывать телепрограммы и кинофильмы? Необходимо, чтобы срок хранения оцифрованного контента составлял не менее 50 лет, а записанный цифровой поток был не ниже 150 Мбит/сек. Если существующие оптические диски по своим параметрам удовлетворяют требованиям предъявляемым к носителям звукового контента, то запись телевизионного контента на диски

Blue-Ray не обеспечивает требований к записи контента STV, а тем более – HDTV.

Сейчас появились новые магнитные и немагнитные цифровые носители, на которых запись производится по различным цифровым технологиям. Однако попытка сравнить и оценить перспективность таких носителей как магнитная лента, жёсткие диски, оптические диски, голографические диски и твёрдотельная память, вызывает вопрос: по каким критериям их сравнивать? По стоимости носителя, срокам хранения, времени доступа к требуемому фрагменту или качеству записанного сигнала? У всех носителей и способов записи оказались самые различные показатели, в большинстве случаев непригодные для сравнительной оценки и прогноза перспективности новых технологий на 5–10 лет вперёд. По результатам комплексных исследований автор приходит к выводу, что единственным общим критерием, позволяющим сравнивать все виды носителей и все существующие способы записи, является многофакторная плотность цифровой записи.

В соответствии с разработанной моделью, её расчёт производится по формуле:

$$P_{xyz} = R * t / Q_{xyz} \text{ Мбит/дюйм}^3,$$

где R – величина цифрового потока;

P_{xyz} – объёмная плотность цифровой записи;

Q_{xyz} – объём носителя;

t – время записи.

Подсчёт объёмной плотности производится по величине форм-фактора диска или картриджа. При этом для кассет должны учитываться объёмы полной и пустой катушек.

Анализ эволюции этого критерия по годам за длительный период времени для всех перечисленных носителей и ведущих фирм-изготовителей представлен на рис. 1.

По оси x – отложено время создания способа записи.

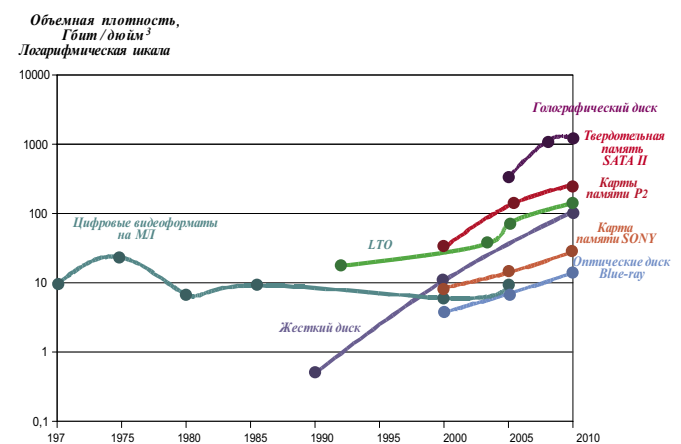


Рис. 1. Эволюция плотности записи цифровой информации на различных носителях

По оси y – рост объёмной плотности записи для всех носителей в логарифмическом масштабе. Обращает на себя внимание то, что цифровая видеозапись на магнитную ленту, достигнув на первых порах успехов в повышении плотности записи, после 1975 года практически

остановилась в своём росте. Это объясняется тем, что классический продольный способ записи отпечатков при цифровой записи сравнительно быстро определялся продольными размерами доменов, и совершенствование цифровых видеомагнитофонов происходило за счёт увеличения относительной скорости головка/лента и одновременной записи цифрового потока несколькими головками на параллельных строчках. Только при открытии новых физических способов намагничивая покрытий из парамагнетиков и изобретения способа перпендикулярного намагничивания доменов, удалось на порядки увеличить объёмную плотность записи цифровой информации на жёстких дисках и магнитной ленте с парамагнитным покрытием. Об этом свидетельствует огромный рост объёмной плотности записи цифровой информации для этих видов носителей, показанных на рис. 2. На рис. 3 приведена расчётная величина роста по годам максимальной трёхмерной плотности записи цифровой информации на записывающем оборудовании, выпускаемом ведущими мировыми фирмами-изготовителями.

архивирования в настоящее время являются жёсткие диски для оперативных архивов и голографические диски для архивов длительного хранения. При окончательном выборе вида записи цифровой информации следует учитывать такие факторы, как стоимость записи бита информации, время доступа к информации и предполагаемые сроки хранения.

Если оценивать перспективу 2015–2020 годов, то среди всех видов носителей для записи цифровой информации бесспорным лидером станет запись на твёрдотельную память. При этом все рекомендуемые мною цифровые носители не лимитируют записываемые цифровые потоки, имеют самую высокую объёмную плотность записи и обеспечивают хранение контента в течение многих лет.

Вместе с тем следует иметь в виду, что в настоящее время для оперативных архивов преимущественно используются стойки с жёсткими дисками. Они требуют значительных затрат на периодическую замену дисков и квалифицированное обслуживание во время эксплуатации. Библиотеки с дисками Blue-Ray применяются для хранения сжатого контента, так как максимальная скорость записываемого на диск потока не превышает 30 Мбит/сек. Библиотеки с картриджами LTO-4 Ultrium используются для архивов длительного хранения. При их использовании следует учитывать, что время доступа к требуемому фрагменту в этих хранилищах довольно значительно, а частая перезаправка картриджей в архивах приводит к загрязнению лентопротяжных трактов.

Создание современных архивов должно сопровождаться созданием электронных библиотек с метаданными контента и построением оптоволоконных кабельных сетей для оперативного обмена оцифрованным контентом. Вопросы создания архивов для контента ТВЧ и кинофильмов требуют отдельного рассмотрения, так как не сжатые цифровые потоки этих видов контента могут быть записаны только на голографических дисках или твёрдотельной памяти. ■

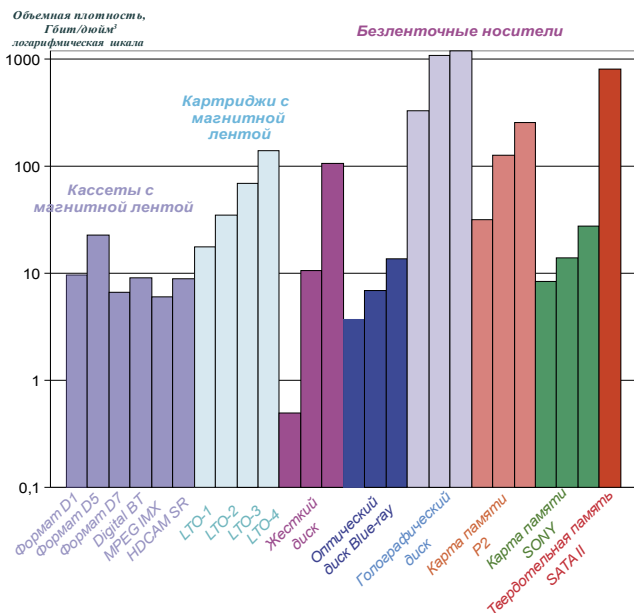


Рис.2 Объёмная плотность записи цифровой информации на различных носителях

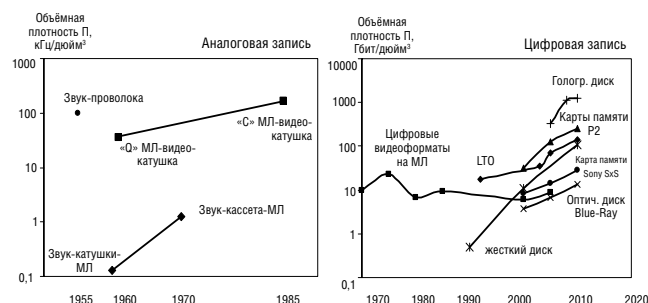
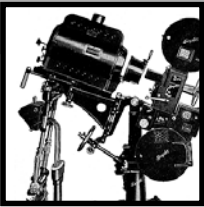


Рис. 3. Изменение по годам объёмной плотности записи информации на различных носителях

Оценивая конечный результат расчётов, можно констатировать, что наиболее перспективным носителем для

ЛИТЕРАТУРА

1. Китаев А. Современный видеархив, поиск оптимального решения// Broadcasting №4 (8), 2000. С. 51-52.
2. Поляков Я. Мифология архивного дела// Телерадиовещание № 4, 2006. С. 40.
3. Первый голографический рекордер от Optware // Кинолента 04//http://hi-tech.compulenta.ru/ 2004. С. 27.
4. Tadashi Nezu. Optware to Release 30 GB Holographic Card for Less Than \$1 at the End of 2006// Nikkei Business publications //http://techno.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20050608/105586/2006-06. С. 08
5. PAPPAS TELECASTING TO USE INPHASE TECHNOLOGIES HOLOGRAPHIC STORAGE// NAB 2006 Booth# C6932// 2006-04, 24
6. INPHASE TECHNOLOGIES SIGNS AUTOMATION OEM AGREEMENT WITH DSM; WIIL PROVIDE HOLOGRAPHIC STORAGE FOR ENTERPRISE CUSTOMERS //In Phase develops //http://www.innphase-technologies.com/news/DSM.htm12007-01-03



Графический метод формирования волнового фронта

В.А. Никашин, А.Н. Путилин,
Физический институт им. П.Н. Лебедева АНР

■ Введение

Со времени открытия принципов голографической регистрации информации Д. Габором интерес к способам получения трёхмерных изображений неизмеримо вырос после изобретения лазера, что выразилось в разработке множества схем и методов записи голограмм. Ныне мало известно, что в древнем Китае мастера гравировки умели наносить объёмное изображение на металлические полированные зеркала и делали они это, разумеется, без применения лазера. В точности история и методика изготовления китайских «объёмных зеркал» не известна, но очевидно, что в те далекие времена никто не применял методы типа быстрого преобразования Фурье (БПФ) для синтеза голограмм. Большинство современных способов синтеза трёхмерных изображений (голограмм) базируется на расчёте волнового фронта, рассеянного объектом с последующим перенесением результатов расчёта на какую-либо регистрирующую среду. Основной проблемой этого переноса является кодирование фазовой и амплитудной составляющей световой волны. К примеру, используются способы кодирования типа бинарной клеточной голограммы или кодирование по точкам [1,2]. Такого типа синтезируемые голограммы являются, чаще всего, голограммами Фурье и обладают значительной избыточностью, что позволяет компенсировать случайные выбросы или ошибки расчёта и изготовления и получать достаточно чистое и яркое изображение. Простые объекты, состоящие из светящихся точек, можно синтезировать последовательной экспозицией точечным источником света, однако поскольку дифракционная эффективность наложенных голограмм падает при увеличении числа экспозиций довольно быстро, то получить достаточно хорошее качество синтезируемых голограмм при сложном объекте очень трудно.

Метод субапертур для синтеза изображений трёхмерных объектов

Поиск альтернативного способа синтеза трёхмерных изображений привёл нас к мысли использовать суб-

апертуру при экспозиции элементарной голограммы для увеличения дифракционной эффективности при методе синтеза голограмм последовательной экспозицией. С другой стороны, этот же метод может быть использован и при синтезе Фурье-голограмм, значительно экономя вычислительные мощности и уменьшая избыточность информации в этих голограммах.

Под термином «субапертура» подразумевается, что для формирования элементарного изображения (точки, линии и т.п.) используется только определённая область на голограмме, а не вся апертура голограммы. Известно, что при воспроизведении изображения точки в Фурье-голографии или в схеме Лейта-Упатниекса информация о ней рассредоточена по всей голограмме, то есть такие голограммы обладают большой избыточностью. Выбор вида субапертуры является наиболее важным аспектом использования данного метода для построения конкретных изображений. Предложенный способ синтеза базируется на использовании кольцевых субапертур, что позволило получить исключительно большой угол обзора изображения – до 160 градусов.

Метод дуговых субапертур

Рассмотрим синтезирование голограмм по методу, предложенному в патенте [3] на примере изображения единичного точечного источника. Пусть необходимо записать голограмму (в простейшем случае – осевую голограмму) точки, расположенной на расстоянии $x = 40.0$ мм от плоскости голограммы (рис. 1). Известно, что интерференционная картина для такого вида поля предметной волны (опорная волна плоская) представляет собой зонную пластинку. Для достаточно чёткого воспроизведения изображения такого типа объекта нет необходимости записывать всю интерференционную картину, а достаточно её части (пунктирное окно на рис. 1), при этом разрешение в изображении будет пропорционально угловой апертуре записанного окна. Любая точка голограммы будет нести информацию об объекте. Если закрыть часть зон зонной картины, то, соответственно, упадёт яркость

воспроизводимого изображения и возрастёт угловая расходимость в радиальном направлении (рис. 1а). В предельном случае нескольких зон Френеля угловая апертура дифрагированного света в радиальном направлении будет максимальна (рис. 1б). При бинокулярном рассмотрении такого типа субапертуры наблюдатель увидит светящуюся точку в объёме, поскольку для каждого глаза область апертуры, дающей дифрагированную волну, в соответствующем направлении будет различна.

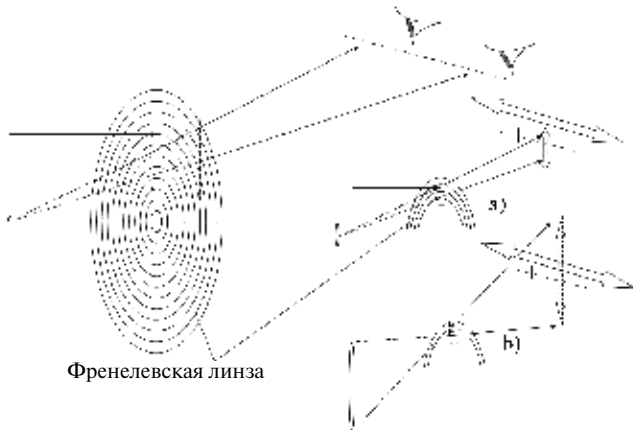


Рис. 1. Осевая голограмма точки: 1а - угловая расходимость в радиальном направлении; 1б - максимальная угловая апертура дифрагированного света в радиальном направлении

На рис. 2 показан случай осевого наблюдения дифракции на кольцевой апертуре при бинокулярном рассмотрении. Рассмотрим приближение, при котором субапертура образована не зонами Френеля, а периодической кольцевой решёткой. Тогда для любой точки апертуры условия дифракции имеют вид:

$$d \cdot (\sin \beta - \sin \alpha) = m \cdot \lambda \quad 1)$$

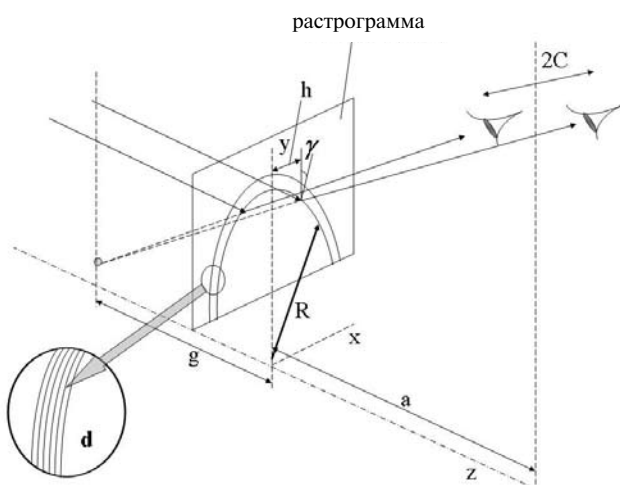


Рис. 2. Наблюдение дифракции на кольцевой апертуре при бинокулярном рассмотрении

Если вектор решётки не находится в плоскости падения луча, то данное условие запишется в виде:

$$\sin \beta_y = \sin \alpha - (m \cdot \lambda / d) \cos \gamma \quad 2)$$

$$\sin \beta_x = (m \cdot \lambda / d) \sin \gamma,$$

где γ – угол наклона вектора решётки в плоскости голограммы;

d – период решётки.

В нашем случае решётка изогнута по радиусу R и угол γ изменяется по закону

$$\sin \gamma = h / R, \quad 3)$$

где h – расстояние от локальной точки до вертикальной оси системы (ось y). Для параллакса $2h$ в плоскости голограммы получим параллакс в плоскости наблюдения $2C$, где $C = h + a \cdot \tan \beta_x$ (здесь не рассматривается вертикальное смещение дифрагированного луча). Используя 2) и 3), получим:

$$C = h \cdot (1 + a \cdot \lambda / Rd) \quad 4)$$

Для межглазного расстояния порядка 70 мм, $a = 300$ мм и $R = 40$ мм, получаем параллакс в плоскости голограммы $2h = 14,7$ мм. Тогда глубина наблюдаемой точки в «объёме» изображаемого пространства равна:

$$g = h / \tan \beta_x = (R^2 d^2 / \lambda^2 - h^2)^{1/2} = 79 \text{ мм} \quad 5)$$

Для такой глубины и при некогерентном освещении будет наблюдаться значительное размытие (благодаря хроматической дисперсии решётки), то есть такого типа субапертура пригодна для монохроматического света. В наших экспериментах мы использовали алмазную гравировку для нанесения дуговых штрихов, при этом на поверхности стекла образовывался практически зеркальный микропризмный профиль канавки. Для такого вида субапертуры условия для глубины изображения точки имеют вид:

$$g = (R^2 - h^2) / 2h \quad 6)$$

$$C = h + a \cdot \tan 2\gamma = h \left(1 + \frac{2a(R^2 - h^2)^{1/2}}{R^2 - 2h^2} \right) \quad 7)$$

Для аналогичных R , a , d и C глубина изображения точки составляет 20 мм. Вопрос об угле обзора синтезируемой голограммы связан с соотношением размеров голограммы и максимальным радиусом дуговой субапертуры. В наших экспериментах синтезировались голограммы с углом обзора до 160°. При алмазном гравировании наблюдается ахроматическое, объёмное изображение (рис. 3), разрешение в котором зависит от пространственной когерентности источника света. Синтезирование по данному методу позволяет значительно упростить процедуру расчёта, поскольку субапертура, формирующая точку изображения, достаточно проста. При синтезе голограмм по методу дуговых субапертур возникает проблема конфликта ориентации решётки в месте пересечения дуг. При этом может возникать как паразитное изображение, так и уменьшение локальной дифракционной эффективности. По-видимому, самым эффективным способом преодоления данного конфликта является случайный выбор одной из двух возможных ориентаций решётки в области пересечения дуг. Программным способом это достигается довольно просто, а в случае использования алмазного резца не-

обходимо «прореживать» рисуемые дуги, или точнее, оптимизировать соотношение «ширина штриха/период нарезки штрихов». В наших экспериментах хорошее качество синтезируемых голограмм достигалось при этом отношении в пределах 1:10...1:100. Особенностью данного метода является то, что при воспроизведении синтезируемой голограммы возможно наблюдение объекта как за плоскостью голограммы, так и перед ней простым зеркальным обращением направления рассматривания голограммы относительно нормали к плоскости голограммы. В отличие от традиционных голограмм построить достаточно хорошее действительное изображение в данном методе очень трудно, поскольку на голограмме зафиксирована не вся информация об объекте. В голографическом представлении предложенный способ построения изображений трёхмерных объектов является средним между традиционным расчётом Фурье-голограмм и кинеграммами плоских объектов, изготавливаемых поточечной записью. Метод обладает некоторой избыточностью, поскольку вся дуга несёт в себе информацию о точке, и случайные повреждения голограммы не сильно влияют на воспроизведение объекта.

Основные результаты экспериментальной проверки метода

Для синтеза голограмм по данному методу была разработана установка алмазной гравировки, позволяющая синтезировать голограммы размером до 450x350 мм. В экспериментах в качестве подложек для гравировки использовались стеклянные и металлические пластинки. Синтез мог выполняться либо вручную, либо на ЭВМ. На фотографиях рис. 3 показаны несколько ракурсов изображения, восстановленного с синтезированной по данному методу голографической растрограммы 3D объекта. Для воспроизведения использовался обычный осветитель с галогенной лампой накаливания. Наблюдались ахроматические трёхмерные изображения с углом обзора до 160°, глубина изображаемого пространства могла достигать 80 мм. Этот же метод применим и для синтеза кинеграмм и трансформаторов изображения, причём объёмное изображение может быть и цветным. Пример восстановления объёмного изображения с такой кинеграммы приведён на рис. 4 (прокручивающиеся по кругу буквы STB card).

Заключение

Представленный в данной статье метод отличается от большинства других методов синтеза объёмных изображений простотой и универсальностью. Нами продемонстрирована возможность синтеза голограмм, не прибегая к лазерным источникам света. При этом эффект объёмности возникает не как следствие свойства голограмм восстанавливать амплитуду и фазу регистрируемой волны, а как результат оптических свойств кольцевой

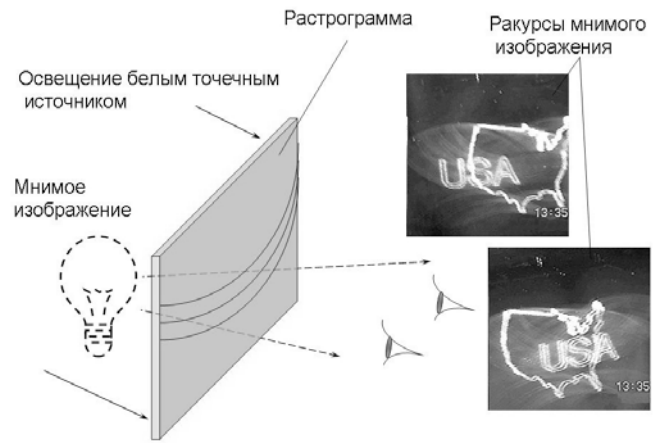


Рис. 3. Ракурсы изображения, восстановленного с синтезированной голографической растрограммы

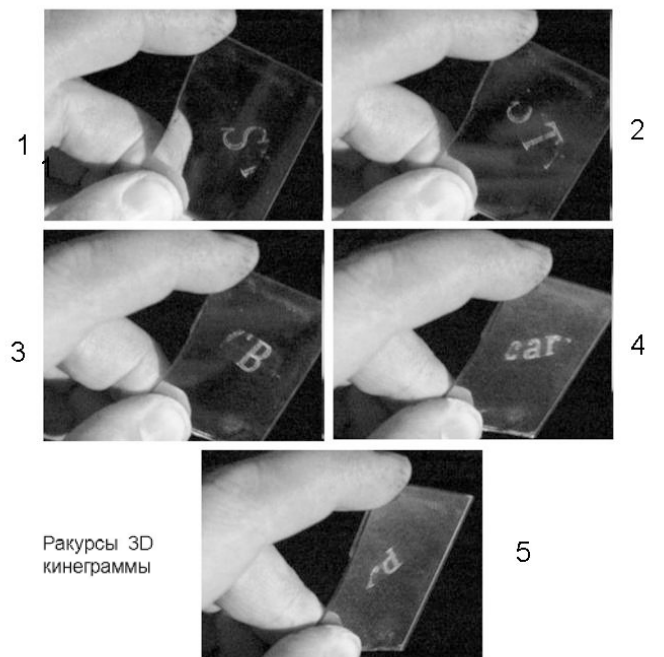


Рис. 4. Восстановление объёмного изображения с 3D кинеграммы (прокручивающиеся по кругу буквы STB card)

субапертуры, строящей элемент изображения. Наиболее перспективными областями использования данного метода уже сейчас можно назвать световую рекламу и защиту документов и товарных образцов, хотя наибольший выигрыш этот метод даст при синтезе динамических изображений. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Lohmann A.W., Brown B.R. Appl. Opt. V.5, p. 967. 1966.
2. Lee W.H. Appl. Pot. V.13, p. 1677. 1974.
3. Никашин В.А., Покровский Р.Б. Способ получения объёмных изображений. Патент РФ № 4145022/10 от 11.11.1986.



ЦИФРОВОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАРИТЕТОВ Российского государственного архива кинофотодокументов

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



Восстановленные кадры киносъёмки «Открытие заседания первой Государственной Думы»

Примеры состояния эмульсии сохранившегося кинонегатива «Открытие заседания первой Государственной Думы 26 апреля 1906 года»

Многие кинодокументалисты часами, а то и неделями в поисках новых интересных материалов, неизбитых кадров кинохроники работают в читальном зале кино Российского государственного архива кинофотодокументов (РГАКФД) в подмосковном Красногорске. Здесь тысячи метров киноплёнки сохранили для потомков зримую историю мира, начиная с 1886 года. Все они внесены в каталог архива, но не все киноматериалы доступны для просмотра. Эта недоступность объясняется не секретностью (в архиве гриф секретности давно снят), а состоянием киноплёнки. Небольшая часть кинохроники снята на киноплёнках с нестандартной перфорацией, часть материалов имеет большую усадку и отслоение эмульсионного слоя, и современная кинопроекторная аппаратура не способна их показать. Таким материалам ОТК выносит «смертный приговор»: не выдавать, печать и запись не возможна. К таким, приговорённым материалам еще с 1956 года относится документальная киносъёмка «Открытие заседания первой Государственной Думы 26 апреля 1906 года»*. До наших дней дошли превосходные фотографии этого мероприятия, сделанные

* «Открытие заседания первой Государственной Думы 26 апреля 1906 года».
РГАКФД. Учётный № 2001.
«Отдельные киносюжеты», 1906.
35 мм чёрно-белый негатив, размер кадра 24,7x18,6 мм, 1.33:1, перфорация не стандартная типа «Bell & Howell» 2,64x1,68 мм.
Частота съёмки 4–8 к/с.

С-Петербургским фотоателее Карла Буллы, а вот о наличии киносъёмки – забыли.

Более ста лет эти уникальные кинокадры хранились в архиве и никогда не демонстрировались. И причиной тому не идеология, а техника.

Первая в отечественной истории киносъёмка в помещении при искусственном освещении проводилась с частотой 8 кадров в секунду, а некоторые планы – с ещё меньшей скоростью. Кинонегатив очень плотный, так как был сильно перепроявлен в целях увеличения светочувствительности. Высокая плотность негатива представляла большие трудности для печати позитива в начале XX века. А нестандартная скорость съёмки при проекции создавала бы неестественность движений, что было совершенно недопустимо для царских особ. Видимо, по этим причинам позитив напечатан не был и, естественно, что никто не смог увидеть этой киносъёмки.

Полвека о плёнке не вспоминали. В 1956 году ОТК РГАКФД признал эту киноплёнку не пригодной для печати из-за неудовлетворительного технического состояния. Все же, в 1972 году была предпринята попытка напечатать позитив. Но высокая плотность изображения, усадка и хрупкость подложки, а самое главное и страшное – отслоение эмульсии не позволили осуществить печать. И плёнка навсегда заняла место в хранилище, как материал непригодный к использованию.

Несколько лет назад начальник отдела научно-справочного аппарата РГАКФД Виктор Баталин впервые

описал этот уникальный киноматериал, с огромным трудом разглядев в лупу на почти чёрном, запрявленном негативе, изображение.

Сегодня, когда современная кинотехника позволяет делать настоящие чудеса и возвращает из небытия ста-



Цветоделённый позитив и цветное изображение на экране по системе «Kinemasolor» их фильма «The Durbar At Delhi» («Торжественный приём в Дели»), 1911 г. Верхний кадр снят через красный фильтр, нижний - через зелёный.

рые шедевры, единственным способом посмотреть торжественное открытие первой Государственной Думы является ручное покадровое сканирование каждого кадра. Использование современных фильм-сканеров, а тем более, копировальных аппаратов, полностью исключено, так как любое механическое воздействие на плёнку приводит к отслоению эмульсии и разрыву подложки. Автор этой статьи вместе с В. Баталиным провёл в РГАКФД серию экспериментов по ручному покадровому сканированию на планшетном сканере с последующей сборкой кадров и анимированием изображения. Полученные положительные результаты позволили впервые, через столетие после съёмки, восстановить уникальную кинохронику и показать её широкой общественности.

25 ноября 2008 года в московском Политехническом музее впервые на киноэкране были продемонстрированы уже восстановленные и анимированные кадры столетней давности, возвращённые к жизни с помощью компьютера.

Долгие годы считался полностью утерянным самый знаменитый и грандиозный во многих отношениях цветной фильм. Речь идёт о первом в мире цветном полнометражном документальном фильме «THE DURBAR AT DELHI» («Торжественный приём в Дели»)** – монументальном киноотчёте о поездке королевской четы Великобритании в Индию.

** «The Durbar At Delhi» («Торжественный приём в Дели»).

Великобритания, Natural Colour Kinematograph Co., 1911, цветной (2-х цветный Kinemasolor®), 126 мин., 35 мм, 1.33:1, немой. РГАКФД Уч. 12496 А, Б.

Другие названия: «With Our King and Queen Through India» (С нашим Королем и Королевой через Индию); «Delhi Durbar».

Продюсер Чарльз Урбан (Charles Urban). Операторы: Джозеф Де Фрин (Joseph De Frene), Альфред Госден (Alfred Gosden), Хирам Хортон (Hiram Horton), Альбайн Маринер (Albain Mariner).

Премьера 2 февраля 1912 года в Лондоне (London) в Скала Театре (Scala Theatre) под названием «With Our King and Queen through India» («С нашим Королём и Королевой через Индию»).

Первый цветной полнометражный документальный фильм в 2-х цветном «Kinemasolor®» (аддитивный процесс).

Съёмки проводились в Дели (Delhi), Калькутте (Calcutta) в Индии (India) с 2 декабря 1911 года по 8 января 1912 года.

Один из создателей первой цветной системы кино Чарльз Урбан направил в Индию четырёх кинооператоров, которые со 2 декабря 1911 года по 8 января 1912 года сняли тысячи метров цветоделённого киноматериала по двухцветной системе «Кинемаколор» во время коронационных торжеств. Торжества проходили там с большим размахом с участием английского короля Георга V, коронованного Императором Индии.

Премьера полной версии фильма прошла 2 февраля 1912 года в Лондоне в Скала Театре под названием «With Our King and Queen through India» («С нашим Королём и Королевой через Индию»). Демонстрация фильма продолжалась более двух часов в сопровождении оркестра, хора



На увеличенных фрагментах цветоделённых кадров хорошо видны отличия одного и того же изображения, снятого через красный и зелёный фильтры. Красный камзол воспроизводится почти белым на «красном» кадре и серым на «зелёном» кадре. Чёрные камзолы на обоих цветоделённых кадрах воспроизводятся почти одинаковым тёмно-серым цветом. При проекции на экран таких кадров через соответствующие светофильтры разница в плотности одноимённых частей кадра выступает фильтром к количеству пропускаемых на экран лучей зелёного и красного света, которые и образуют на экране в результате аддитивного синтеза цветное изображение. Одинаковые плотности чёрных камзолов на обоих кадрах задерживают и красные, и зелёные лучи в одинаковых количествах, которые смешавшись, создают на экране цвет, близкий к чёрному. А почти прозрачное изображение красного камзола на «красном» позитиве свободно пропускает свет красного светофильтра на экран, в то время как через зелёный фильтр проецируется серое изображение этого камзола, то есть срезается значительная часть зелёного цвета. В таких пропорциях проекция красного и зелёного света воспроизводится на экране как почти чистый красный цвет.

и отряда барабанщиков, исполнявших специально подобранную музыкальную программу в соответствии с демонстрировавшимися сюжетами. Полная версия фильма состояла из 22 сюжетов. Фильм стал сенсацией и долгое время демонстрировался в Англии и других странах мира, как целиком, так и различными частями.

В России картина демонстрировалась не только в Москве и Санкт-Петербурге, но и во многих городах Империи.

К большому сожалению, полностью фильм не сохранился ни в одном архиве мира. Только в Российском государственном архиве кинофотодокументов под учётным номером «12496 А, Б» и названием «Индо-Британские войска на западном фронте» сохранились цветоделённые фрагменты, описанные в каталоге «Kinemasolor» в разделе «The Royal Review of 50,000 Troops» («Королевский смотр 50000 отрядов»), съёмка 14 декабря 1911 года во время смотра войск в Дели.

На сегодняшний день Российский государственный архив кинофотодокументов является единственным в мире хранителем фрагментов (2 части, 447 м) этого грандиозного кинодокумента. Этот материал интересен не только тем, что является единственным самым большим сохранившимся фрагментом первого в мире цветного полнометражного документального фильма, но и тем, что он демонстрирует эпизоды самого грандиозного военного смотра, проведённого в начале XX века и снятого в цвете.

Автором этих строк была проведена компьютерная обработка изображения и сведение цветоделённых позитивов. Для работы по получению цветного изображения был использован 35-мм чёрно-белый цветоделённый контратип-оригинал, хранящийся в РГАКФД – 2 части (243,3+204,3 м). Негативное изображение было инвертировано в позитивное и оцифровано. На первом этапе создания цветного изображения из позитивной копии были выделены все кадры, снятые через красный фильтр, и соответственно – через зелёный фильтр. В результате получилось как бы два одинаковых по длине чёрно-белых «фильма», но отличающихся друг от друга тем, что каждый из них является носителем составляющей соответствующего цвета. Каждый из этих «фильмов» был «окрашен» соответственно в красный и зелёный цвет, затем оцифрован в программе «мультиплей», которая как бы выполнила работу кинопроектора с цветными фильтрами, объединив чёрно-белые цветоделённые кадры в один цветной фильм. Таким образом, удалось получить цветное изображение, соответствующее описаниям очевидцев начала XX века со всеми его достоинствами и недостатками.

Сегодня, благодаря компьютерным технологиям, мы можем посмотреть эти кадры в цвете так, как их видели

зрители в начале прошлого века. Компьютер позволяет сегодня не только вернуть к жизни «умирающий» кино-материал, имитировать кинопроекцию в старой системе цветного кино, но и увидеть в первоизданном цвете кинохронику парада, выпущенную в прокат по давно утраченной системе гидротипной печати.

В начале 30-х годов XX века на киностудии «Ленфильм», киностудии «Мосфильм» и в НИКФИ разрабатывался и внедрялся трёхцветный субтрактивный метод, основанный на трёхплёночном способе съёмки. Для получения трёх цветоделённых негативов на заводе «Ленкинап» бригадой конструкторов под руководством А.А. Мина была сконструирована, а затем в 1935 году под руководством П.М. Романова создана специальная кинокамера «ЦКС-1».

Для съёмки применялся обычный комплект плёнок «бипак». «Зелёное» изображение снималось на одиночную плёнку, «синее» – на переднюю плёнку «бипака», а «красное» – на заднюю.

Если съёмочная техника и на «Ленфильме» и на «Мосфильме» для получения трёх цветоделённых негативов применялась одинаковая, то получение цветной копии фильма было разным.

Лаборатория цветного кино киностудии «Ленфильм», так же как и компания «Техниколор», в основу получения цветной копии положила способ гидротипной печати методом впитывания, то есть печати водяными красками.

На киностудии «Мосфильм» в 1936 году под руководством Павла Михайловича Мершина был разработан и практически осуществлён процесс печати цветных копий на хромированной желатине.

Мы не будем вдаваться в технические подробности самого процесса печати. Но заметим, что в отличие от гидротипной печати методом впитывания, где матрицы печатались с негатива, в методе П.М. Мершина матрицы печатались с позитива. Так как при непосредственной печати с негатива на хромированной желатине получалось негативное изображение, приходилось сначала изготавливать рабочие позитивы, с которых затем велась печать фильма. Негатив в процессе печати копий не используется, что предохраняет его от порчи.

Автор этих строк практически убедился в этом, когда приступил к восстановлению первого советского трёхцветного документального фильма «ЦВЕТУЩАЯ ЮНОСТЬ»***. Цветоделённые негативы, за исключением «зелёного», производили впечатление, как будто они только что вышли из проявочной машины – ни пылинки, ни соринки. А вот «зелёный» негатив, как самый резкий – с царапинами и порывами, так как с него печатали копии чёрно-белого варианта фильма. Опыт восстановления «Цветущей юно-

*** «Цветущая юность», СССР, Мосфильм/Ленфильм, 1939, цветной (трёхцветный, метод хромированной желатины П. Мершина), 18 мин. (2 ч., 493 м), 35 мм, сферический, 1.37:1, моно. РГАКФД. Уч. № 6704. Первый советский цветной документальный фильм по трёхплёночной системе.

Режиссёр А. Медведкин. 2-й режиссёр В. Фейнберг. Ассистент Г. Кабалов.

Технический руководитель и цветооператор Ф. Проворов. Цветооператоры: орденоносец В. Гарданов, А. Атакшиев, М. Магид.

Цветная печать выполнена лабораторией Мосфильм методом хромированной желатины по способу П. Мершина. Инженер по цветной обработке В. Фридман.

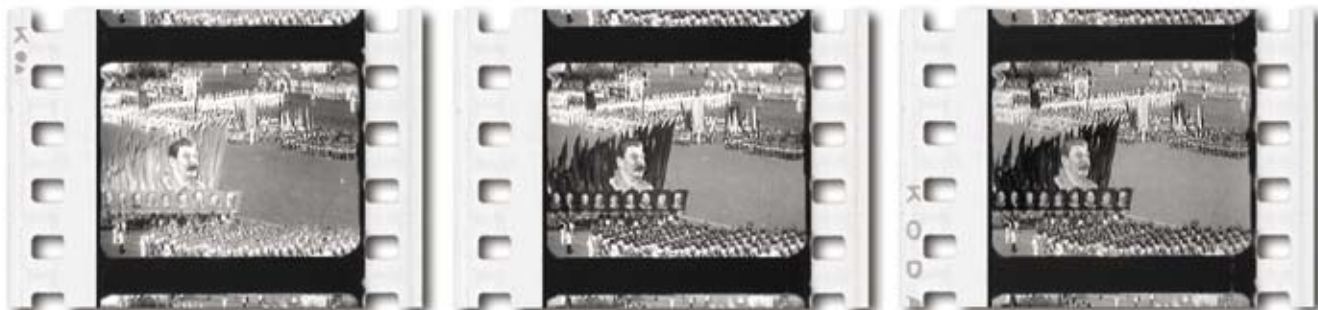
Экспериментальный цветной фильм о физкультурном параде в Москве 18 июля 1939 года.

сти» показал, что сегодня только с использованием современной компьютерной техники можно восстанавливать цветные фильмы, снятые в трёхцветной системе.

К сожалению, сегодня уже нельзя напечатать качественную чёрно-белую копию с любого из цветоделённых негативов. В карточке ОТК так и написано: «Печать невозможна. Усадка плёнки выше нормы». Усадка цве-



Кадр из фильма «Цветущая юность»



Три чёрно-белых цветоделённых позитива красного, зелёного и синего изображения из документального фильма «Цветущая юность», 1939 г.

тоделённых негативов (а она неизбежна) и была одной из главных проблем получения качественного цветного позитива в то время, с годами сделала невозможным использование киноплёночного процесса для получения и восстановления цвета по старой технологии. Я уже говорил, что исходные материалы, за исключением «зелёного», были как новенькие. Это так. Но усадка плёнки... нам удалось без потерь перевести в цифру цветоделённые негативы, но при их сложении сразу же выяснилось, что усадка произошла неравномерно не только на каждой из плёнок, но и во многих случаях на каждом из кадров. Поэтому для получения цветного качественного изобра-

жения приходилось вручную править и подгонять размеры трёх цветоделённых изображений каждого кадрика. Так, при сведении цветоделённых негативов 1 части этого фильма вручную было исправлено около десяти тысячи кадров. Но это число надо умножить на два, так как выравнивались два цветоделённых кадрика по отношению к третьему. Работа эта адская. НО! Результат стоит того. Старая кинохроника расцвела первозданными красками. Изображение стало резче и сочнее. Цветопередача в данном случае не зависит от качества красителей и матриц, чёрно-белые негативы не подвержены выцветанию. Как снято, так и получилось, вернее, какой был цвет объектов во время съёмки, такой он и на экране сегодня, через 70 лет. Думается, что сами авторы фильма в 1939 году и не подозревали о том, насколько более красочным может получиться их фильм, обладай они в то время современной техникой для сведения цветоделённых негативов советской трёхцветки. На эту мысль наводит со-

поставление цветного варианта компьютерного сведения цветоделённых негативов и цветной копии 1939 года из РГАКФД, изготовленной методом хромированной желатины П.М. Мершина.

Компьютерная техника постоянно совершенствуется, появляются новые программы, ускоряющие и облегчающие процесс работы с изображением. И то, что сегодня делается за год и требует огромных физических усилий, завтра можно будет сделать за считанные часы. Это значит, что удастся сохранить, а в некоторых случаях – впервые увидеть многие сокровища, хранящиеся на полках киноархивов. ■



Кинокамера «Kinetacolor» с удалённой передней объективной панелью, за которой установлены на obtюраторе зелёный и красный светофильтры, через которые происходит цветная съёмка по системе «Kinetacolor»



Проекционная головка кинопроектора «Kinetacolor» с цветными светофильтрами



Кинопроектор «Kinetacolor» с цветными светофильтрами



РИСОВАННЫЙ ЗВУК В СССР

Н.А. Изволов, кандидат искусствоведения,
зав.отделом истории и теории НИИ Киноискусства

■ До появления звукового кино кинематографисты никогда не размышляли о теории звука. Но как только в кино появился звук, так немедленно появились аналитические работы.

Всего четыре человека внесли наиболее ценный вклад в изобретение и разработку «рисованного звука»:

Арсений Авраамов – композитор и музыкальный теоретик, изобретатель универсальной музыкальной 48-тоновой системы «Welttonsystem» (иначе – «U.T.S.»);

Евгений Шолпо – инженер, технический изобретатель, разработавший аппарат для искусственного исполнения музыки;

Борис Янковский – акустик;

Николай Воинов – оператор мультипликации.

Октябрь 1929 года – дату рождения самой идеи с удивительным единодушием отмечают все мемуаристы, даже Б. Янковский, не присутствовавший при этом. На авторство никто открыто не претендовал, возможно, потому, что первым эту мысль случайно высказал в разговоре режиссер-мультипликатор Михаил Цехановский (это обозначено в статье А. Аврамова «Синтетическая музыка», 1938):

«Как-то сидели мы в студии втроем – я, Е.А. Шолпо, приглашённый мною в качестве ассистента, и художник-мультипликатор М.М. Цехановский (автор первого звукового мультфильма «Почта» – по Маршаку). Мы с огромным интересом рассматривали в лупу первую, ещё мокрую, звуковую дорожку, только что принесённую из проявки. Цехановский восхищался красотой орнаментальных узоров кривой и фантазировал:

– Интересно, если заснять на эту дорожку египетский или древнегреческий орнамент – не зазвучит ли вдруг неведомая нам доселе архаическая музыка?

Мы с Шолпо разочаровали художника: так как орнамент сам по себе строго периодичен, то в зависимости от его формы прозвучит единственный звук того или иного тембра – «египетского» или «греческого» – трудно судить, но мелодии никакой, разумеется, не получится...»

Однако слово было сказано – идея нанесения на плёнку заранее заготовленной «искусственной» фонограммы и блестящие перспективы этой идеи запали в душу всем участникам беседы.

Авраамов был единственным, кого не интересовала собственно техника. Его влекла возможность исследования первоосновы как оптического изображения, так и звука, становящегося музыкой и голосом. Такой первоосновой были простейшие формы евклидовой геометрии – квадраты, треугольники и круги, из которых складывается не только любая визуальная форма, но также и оптическая фонограмма любой формы на киноплёнке (рис. 1).

С технологической точки зрения его вполне устраивали мультипликационный станок и покадровая съёмка заранее начерченного графика. Именно Арсений Авраамов был первым, кто впервые заставил зазвучать рисованный звук летом 1930 года, и осенью того же года демонстрировал свои опыты на звуковой конференции в Москве.

Каждый из трёх остальных разработчиков «рисованного звука» изобрёл свой собственный аппарат оригинальной конструкции.

Е. Шолпо назвал свой аппарат «Вариофоном». Этот аппарат был приспособлен для кинетической съёмки звука на движущуюся киноплёнку. Шаблоны для будущих звуков изготовлялись в виде дисков с прорезями различной конфигурации. В зависимости от количества прорезей и их конфигурации это мог быть либо единичный звук, либо аккорд (рис. 2).

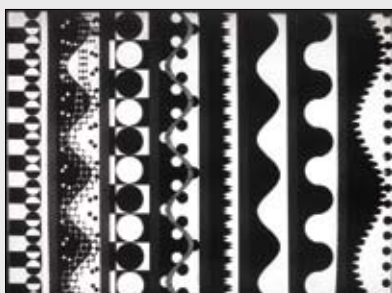


Рис. 1. Фонограмма А. Аврамова

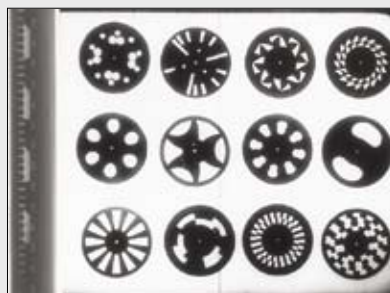


Рис. 2. Диски Е. Шолпо

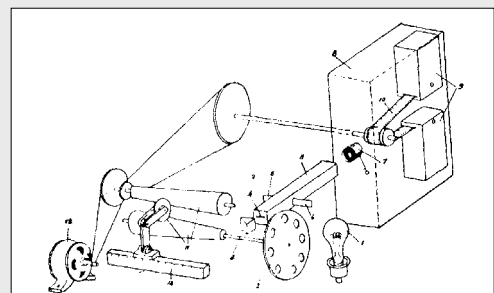


Рис. 3. Вариофон

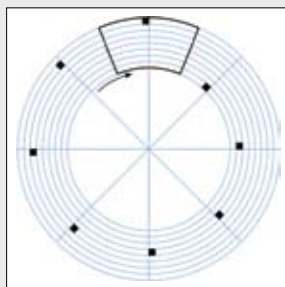


Рис. 4. Диск Нипкова

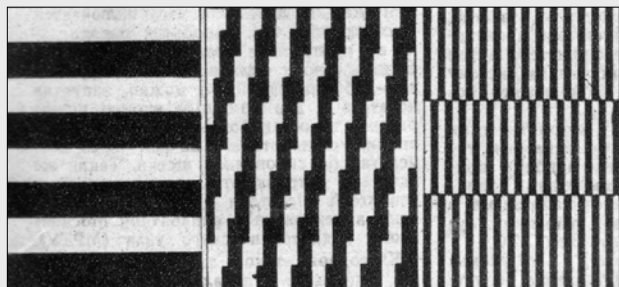


Рис. 5. Звуки на экране телевизора

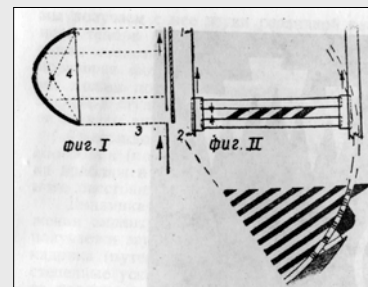


Рис. 6. Виброэкспонатор

Луч света, проходивший через прорезы вращающихся дисков, при помощи призмы отражался на киноплёнке. Движение плинки было непрерывным (а не скачковым, как обычно). При этом диск мог вращаться не синхронно по отношению к движущейся плёнке, и этим достигались различные темпы музыкального исполнения (рис. 3).

Интересно, что именно в это время разрабатывалась система механического телевидения, где изображение получалось при использовании так называемого «диска Нипкова», с нанесёнными на нём по спирали отверстиями (рис. 4).

И в это время Арсений Авраамов выдвинул еще одну идею, связанную именно с приёмом телевизионного сигнала (рис. 5).

Если можно световой сигнал превратить в звук, то верно и обратное: можно звук превратить в изображение. Этому была посвящена его статья «Синтонфильм и Метаморфон». Устройство «Метаморфон» так и не было создано, но «Вариофон» Евгения Шолпо унаследовал идею вращающегося диска с отверстиями, через которые проходит свет (рис. 6).

Устройство Б. Янковского называлось «Виброэкспонатор».

Оно было предназначено для получения различных тембров, поскольку именно тембральный окрас звука был наиболее слабым местом других изобретателей (и Шолпо, и Воинова). Янковский был профессиональным акустиком, и его работа представляется очень интересной и важной. Два года он проработал в лаборатории Авраамова (1930–1932) и за это время было произведено множество акустических исследований, необходимых для построения акустических графиков. В 1932 году исследователи всерьёз заявляли, что они собираются синтезировать звуки человеческой речи. Авраамов писал, что все типы согласных звуков могут быть сведены к четырём типам акустического графика, а гласные – к двум. Но авраамовскому

«Гомункулусу» (как называли его коллеги) не суждено было зазвучать.

Н. Воинов (также начинавший свои опыты с Авраамовым) сконструировал машинку для разметки своеобразных «гребёнок» из бумаги, служивших стандартными заготовками фрагментов будущей фонограммы. Его метод родился из традиционной для того времени мультипликационной техники бумажной перекладки. Фонограмма

покадрово снималась параллельно с изображением. Это был практичный метод, сводивший, впрочем, к минимуму всё богатство акустических возможностей «рисованного звука». В титрах фильма «Вор» (1934) метод Воинова даже назван «бумажным звуком», хотя, понятно, что такого рода заготовки могли быть сделаны из любого материала. Воинов не был склонен к теоретизированию и не оставил никаких литературных трудов, в отличие от остальных изобретателей. Зато сохранились именно его четыре законченные кинематографические работы с рисованным звуком (рис. 7, 8).

К сожалению, большинство работ изобретателей рисованного звука до наших дней не дошло. Опыты Арсения Авраамова хранились у него дома и погибли в результате

несчастливого стечения обстоятельств. Опыты Бориса Янковского не вышли из лабораторной стадии и, очевидно, могли существовать только в единичных экземплярах. Опытам Николая Воинова повезло гораздо больше. Несколько фильмов было выпущено в прокат и поэтому они были тиражированы. Четыре его работы сохранились в российских киноархивах.

Но наиболее полно сохранился архив Евгения Шолпо. Несколько десятков роликов, среди которых можно обнаружить и фрагменты того, что делали другие изобретатели, впервые будут показаны на фестивале анимационных фильмов в Утрехте в ноябре 2008 года. ■

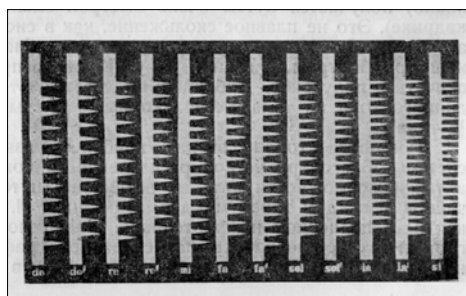


Рис. 7. Машинка Н. Воинова

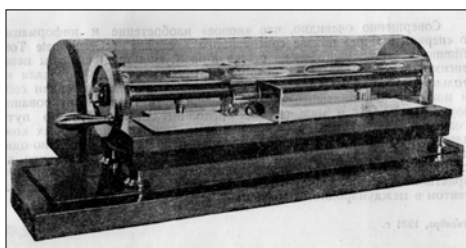


Рис. 8. Шаблоны звуков Н. Воинова



История кинематографа в экспозиции Политехнического музея

Т.А. Платонова,
научный сотрудник Политехнического музея

■ Кинематограф появился в конце XIX века как синтез многих областей науки, техники и искусства, он изменил жизнь людей, их мышление и понимание мира, пройдя огромный путь от ярмарочной игрушки до могущественной индустрии.

В 2002 году руководством Политехнического музея было принято решение на базе собрания музея по технике для кинематографа создать постоянную экспозицию по истории кино. Торжественное открытие экспозиции «Из истории кинематографа» состоялось в Политехническом музее 30 октября 2003 года.

Основные цели и задачи созданной экспозиции:

- показать научные основы и принципы, основные этапы развития техники кинематографа;
- рассказать о деятельности учёных и изобретателей, отметить интернациональный характер изобретения кинематографа и вклад отечественных учёных и изобретателей;
- раскрыть социально-историческое, научное значение кинематографа;
- показать кинематограф как наиболее массовый вид искусства.

Художественный проект экспозиции разработан сотрудниками Политехнического музея совместно с заслуженным художником России А.Н. Коновым.

Экспозиция состоит из следующих тематических разделов:

Предтеча кинематографа. В этом разделе можно узнать о простейших наблюдениях стробоскопических явлений, о первых устройствах для наблюдения стробоскопических «иллюзий» и их создателях, о проекционных фонарях, развитии проекции и применении проекционных фонарей в учебных целях.

Хронофотография и проекция – составные части кинематографа. В разделе показаны научные основы и практическое применение стробоскопического эффекта для создания иллюзии движения. Здесь же рассказывается о тех важных вехах в развитии фотографии, которые привели в дальнейшем к созданию кинематографа.

Изобретение первых киноаппаратов. Представлены наиболее важные разработки учёных и изобретателей разных стран, которые были направлены на решение проблемы проекции изображения на экран, и первых, технически удовлетворительных, киноаппаратов. Показаны различ-

ные типы скачковых механизмов для прерывистой смены изображений – главной части киноаппаратов.

Кинематограф в России. До революции несколько сот человек в стране сделали кино своей профессией и создали около двух тысяч фильмов, не считая документальных и научно-популярных, которых было во много раз больше. Здесь же можно узнать о первых демонстрациях кинематографа Люмьеров в России, первых отечественных фильмах и их создателях. О становлении отечественных кинематографических жанров, деятелях кинематографа.

Экспозиционный комплекс «Кинозал». Является составной частью центральной части экспозиции, в которой воссоздан фрагмент кинозала. Здесь демонстрируются отрывки из отечественных художественных, научно-популярных и анимационных фильмов (по материалам Российского Государственного архива кинофотодокументов).

Центральная часть экспозиции. Здесь представлены киносъёмочные и кинопроекторные аппараты самых известных кинематографических фирм разных стран, отражающие эволюцию кинотехники с начала XX века до 80-х годов XX века. На баннерах представлены фрагменты из кинофильмов и рабочие моменты съёмок известных российских кинорежиссёров, работавших в разное время на киностудии «Мосфильм» (по материалам информационного центра «Мосфильм – Инфо»).

Мультипликация. В разделе демонстрируется мультстанок для съёмки графической мультипликации. Рассказывается о зарождении мультипликации как искусства, о создателях принципов графической и объёмной (кукольной) мультипликации Владиславе Старевиче и Эмиле Коле.

Специальные виды киносъёмки:

- Скоростная киносъёмка. Представлено специальное оборудование, необходимое для съёмки быстропротекающих процессов (кинокамера, оптические компенсаторы);
- Киносъёмка с летательного аппарата;
- Подводная киносъёмка. Показано оборудование для подводных киносъёмок: специальный водонепроницаемый бокс для кинокамеры, кинокамера, подводный скутер для перемещения под водой оператора, снаряжение аквалангиста.

Экспозиция «Из истории кинематографа» пользуется популярностью у посетителей Политехнического музея разных возрастных категорий, где каждый может найти для себя что-то интересное. ■



В.В. Перепичай,
В.Ф. Гордеев, О.Н. Раев,
МКБК

Специальная техника для киносъёмочных процессов

■ В дореволюционной России киносъёмочная техника не производилась, а ввозилась из-за границы. В конце XIX века В.А. Дебюк, К. Пружинский, А. Самарский и другие российские изобретатели предприняли попытки создания первых отечественных киносъёмочных аппаратов. Отечественные киносъёмочные аппараты стали выпускать только с 1930 г. Первые конструкции рождались в мастерских киностудий — Киевской, Ленфильма, им. М. Горького, киностудии хроникально-документальных фильмов. В разработке киносъёмочных аппаратов приняли участие сотрудники Научно-исследовательского кинофотоинститута (НИКФИ) и Ленинградского института киноинженеров (ЛИКИ). В результате был накоплен опыт киносъёмочного аппаратостроения и сформировались специалисты: В.Д. Константинов, Г.А. Шмидт, Д.М. Зенин, Г.В. Меринг, С.И. Никитин и многие другие, что позволило в предвоенные годы наладить серийный выпуск киносъёмочных аппаратов и штативов для основных и специальных видов киносъёмки.

После войны началось восстановление проектирования и производства кинотехники. На заводе «Москинап» был организован серийный выпуск синхронных аппаратов «Москва», хроникальных «Родина» и ручных «Конвас-Автомат».

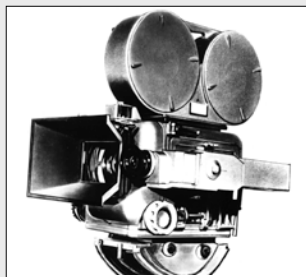
Киноаппарат стал сложным изделием, состоящим из высокоточной оптики, прецизионной механики, электроники. Постоянно усложняющийся киносъёмочный процесс ставил задачи совершенствования эксплуатационных характеристик киноаппаратов для различных видов киносъёмок. В 1954 году решением Совета Министров СССР было образовано Московское конструкторское бюро (МКБ) с целью выполнения научно-исследовательских и конструкторских работ по созданию киносъёмочных аппаратов и другого оборудования для производства киносъёмок, которое в 1957 г. было переименовано в МКБК.

Уже в конце 50-х годов под руководством Г.А. Шмидта специалисты МКБК разработали линейку 35-мм киносъёмочной аппаратуры, включающую синхронный студийный аппарат СК-1, натурный штативный аппарат 1КСН и специальный аппарат для скоростных и комбинированных съёмов ИКСК. Эти киноаппараты отличались технологичностью конструкции, высокой эксплуатационной надёжностью и в значительной степени отвечали требованиям фильмопроизводства того периода. В 60-х годах коллектив МКБК приступил к созданию новых оригинальных моделей 35-мм киносъёмочных аппаратов, оснащённых системой зеркального визирования и характеризующимися улучшенными эксплуатационными характеристиками. Так, конструкторская группа, руководимая Б.И. Радчиком и С.И. Никитиным, создала новый 35-мм аппарат для павильонных съёмок «Мир». Многие известные кинофильмы, например, «Девять дней одного года» были сняты этим аппаратом. В дальнейшем аппарат «Мир» был несколько раз модифицирован.

В 60-е гг. появились новые системы кинематографа — широкоэкранный, широкоформатный, стереоскопический. Началось постепенное внедрение в съёмочные процессы телевизионных методов и технологий. Под новые кинематографические системы создавалась и соответствующая новая кинематографическая техника.

Для съёмки первого в стране широкоформатного фильма «Повесть пламенных лет» в МКБК в короткие сроки были разработаны синхронный павильонный аппарат 70СК и скоростной аппарат для комбинированных съёмок 70КСК.

Позже были созданы новые киноаппараты, оснащённые зеркальными obtюраторами: в 1961 г. — ручной аппарат 1КСШР, в 1966 г. — павильонный аппарат «Россия» и в 1973 г. — натурный аппарат «Берёзка». Съёмки таких фильмов, как «Война и мир» производились с помощью этих аппаратов.



Павильонный киносъёмочный аппарат «Мир»



16-мм ручной аппарат «Кинор»



Лёгкий 35-мм скоростной киносъёмочный аппарат «Темп»



Ручной киносъёмочный аппарат ЗКСР

Для телевизионного фильмопроизводства специалисты МКБК создали ручной 16-мм киносъёмочный аппарат (модель 16СП), синхронный павильонный аппарат (модель 16СК) и позже киноаппарат с телевизионным визированием для съёмок многокамерным методом (модель 16СКМ).

С 1964 г. по 1974 г. МКБК совместно с НИКФИ разработало киносъёмочную аппаратуру для производства стереоскопических фильмов по системе «Сtereo-70»: киносъёмочный аппарат для павильонных съёмок 70СК-Д, аппарат для натуральных съёмок 1СШН-Д и ручной аппарат 1КСШРУ-Д.

Для синхронных репортажных съёмок в условиях интерьеров в 1963 г. создан штативный синхронный 35-мм аппарат «Эра», который благодаря своим эксплуатационным возможностям в течение длительного периода выпускался серийным производством завода «Москинап». Этим аппаратом записывались все государственные мероприятия, в том числе партийные съезды в Кремлёвском Дворце Съездов. В 1965 г. МКБК разработало 16-мм ручной аппарат «Кинор» (модель 16СХ), который по техническим характеристикам долгое время превосходил зарубежные аналоги. Впоследствии была проведена модернизация этого аппарата, и две его модели 16СХ-М и 16СХ-2М выпускались заводом «Москинап» длительное время для документального фильмопроизводства, телевидения и иных как отечественных, так и зарубежных потребителей.

В 60-е годы МКБК разработало и специальное киносъёмочное оборудование:

- аппараты 5КФН и 1КФШ для съёмок по методу «блуждающая маска»;
- трюк-машина 70ТМ для съёмок контактной и оптической печатью на 35-мм и 70-мм;
- установка вторых экспозиций 1УВЭ.

В 1974 г. МКБК завершило разработку лёгкой 35-мм скоростной камеры «Темп». При весе 12 кг аппарат имел зеркальный obtюратор, диапазон скоростей до 150 кадр/с, постоянство экспозиции при плавном изменении скорости съёмки. Аппарат успешно использовался при создании художественных, научно-популярных и спортивных фильмов. Им были сняты многие спортивные картины, в том числе широко известный в то время кинофильм «Хоккей против хоккея», а также кинолетопись «Олимпиада-80».

В конце 70-х годов был создан новый ручной аппарат модели 3КСР с зеркальным obtюратором с углом откры-

тия 180°, синхронным электроприводом с кварцевой стабилизацией, встроенным экспонометрическим устройством и уровнем шума около 42 дБ при весе 6 кг.

Неоднократно проводилась модернизация аппарата «Конвас», в результате чего появился однообъективный вариант; были созданы синхронные электроприводы сетевого и автономного питания, повышена надёжность лентопотяжного тракта.

В 1982 г. в МКБК разработан синхронный штативно-плечевой аппарат «Кинор-35С», обладавший широкими эксплуатационными возможностями и уровнем шума 29 дБ при весе 15 кг. Производство этих аппаратов продолжалось до 1987 г.

На базе аппарата «Кинор-35С» в 1984 г. был создан натуральный аппарат «Кинор-35Н», который оказался более востребованным кинопроизводством, поскольку имел уровень шума 32 дБ при весе 11,5 кг. Его серийное производство продолжалось до 1993 г.

В начале 90-х гг. на деятельности МКБК были проработаны направления модернизации ранее созданной киносъёмочной аппаратуры, находящейся в эксплуатации, но уже не соответствующей изменившимся требованиям съёмочных процессов. Например, аппарат 1КСР-2М («Конвас») оснастили телевизиром, контргрейфером, новым электроприводом с современной электронной системой управления, а аппарат «Кинор-35Н» – современной надёжной системой управления электроприводом, телевизиром и гнездом объективодержателя типа ARRI PL.

Продолжились конструкторские работы, направленные на создание оборудования для проведения специальных видов съёмок. Так, в 2006 г. совместно с фирмой «АСТ» создан сверхлёгкий, весом 3,5 кг, ручной 35-мм киносъёмочный аппарат с возможностью дистанционного управления.

В 2007 г. разработан подводный 35-мм киноаппарат с дистанционным управлением. Глубина погружения до 30 м. Аппарат оснащён сменными иллюминаторами «вода-воздух» для дискретных и ZOOM объективов в оправках ARRI PL. Имеет быстросменные кассеты 150 м и систему подводного ТВ-контроля и видеозаписи «playback».

В настоящее время совместно с НИКФИ разрабатывается новый стереокиноаппарат, работающий по системе «Сtereo-70» и соответствующий современным требованиям кинематографического процесса. ■



Синхронный штативно-плечевой киносъёмочный аппарат «Кинор-35С»



Синхронный натуральный киносъёмочный аппарат «Кинор-35Н»



Сверхлёгкий киносъёмочный аппарат «АСТСАМ»



Подводный киносъёмочный аппарат



ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ по прикладной голографии

О.В. Андреева,
к.ф.-м.н., СПб ГОИ

Продолжение

Голограмма трёхмерная (объёмная) – голограмма, при освещении которой формируется только один дифракционный порядок (-1). При этом толщина голограммы намного превышает пространственный период изменения её оптических параметров. Трёхмерная голограмма обладает угловой и спектральной селективностью, что обеспечивает возможность воспроизведения в дифрагированной волне не только амплитуды и фазы объектной волны, но также и её спектрального состава. Высокая эффективность и информационная ёмкость трёхмерных голограмм привлекают к ним внимание многих исследователей, однако, теоретический анализ трёхмерных голограмм достаточно разработан лишь для ограниченного круга объектных волн (модовая теория, теория связанных волн). Как правило, вопрос о степени объёмности голограммы решается экспериментально по наличию +1 и высших порядков дифракции и их эффективности. В качестве теоретического критерия степени объёмности используют параметр Клейна $Q = 2 \pi \lambda T / (nd^2)$, применимый в случае элементарных голограмм, где λ – длина волны излучения, T – толщина голограммы, n – средний показатель преломления голограммы, d – пространственный период голограммы. При $Q > 10$ голограмму принято считать трёхмерной, высокоселективные трёхмерные голограммы имеют $Q > 1000$. Трёхмерные голограммы получили широкое применение в изобразительной голографии, динамической голографии, при получении голограммных оптических элементов. Благодаря высокой селективности трёхмерные голограммы используются в качестве узкополосных спектральных и угловых селекторов: в настоящее время на регистрирующих материалах толщиной порядка единиц угловых минут порядка 1 мм достигнуты значения спектральной селективности – порядка десятых долей нм, а угловой селективности – порядка единиц угловых минут.

Голограмма динамическая – голограмма, регистрируемая в среде, оптические параметры которой изменяются под действием формирующего голограмму излучения, что приводит к дифракции излучения на голограмме в процессе её регистрации, обуславливающей изменение характеристик записываемых волн и появление новых волн. Обычно считывание динамической голограммы производится во время регистрации голограммы одной из формирующих её волн. В результате стадии формирования и считывания динамической голограммы, в отличие от голограммы статической, неразрывно связаны,

а процесс запись считывание является одновременным. Параметры динамической голограммы определяются характеристиками регистрируемого излучения (длиной волны, шириной спектра, мощностью и длительностью воздействия), свойствами регистрирующей среды (нелинейной восприимчивостью и временем релаксации), а также условиями записи (величиной и ориентацией внутренних и внешних электрических полей; геометрией записи, состоянием поляризации взаимодействующих волн и наличием между ними частотного сдвига и т.д.). Динамические голограммы дают возможность управлять интенсивностью, формой и направлением распространения волн и в настоящее время применяются для компенсации искажений волнового фронта в адаптивной оптике и лазерной технике, для решения задач оптической обработки информации в реальном времени. Для получения динамических голограмм используют нелинейные регистрирующие среды: фоторефрактивные электрооптические и жидкие кристаллы; резонансно поглощающие пары металлов, эффекты вынужденного и нелинейного рассеяния света и т.д.

Разновидностью динамических голограмм являются доплеровские голограммы, образующиеся при регистрации быстро движущихся объектов.

Голограмма осевая – пропускающая голограмма, при регистрации которой объектная и опорная волны являются соосными. Восстановленная такой голограммой (дифрагированная) волна и волна, прошедшая голограмму без дифракции, пространственно неразделимы. К этому типу относится голограмма Габора. Схемы регистрации осевых голограмм позволяют использовать источники излучения с малой длиной когерентности и регистрирующие среды низкого разрешения. Основным недостатком осевой голограммы является невозможность пространственного разделения волн, прошедших голограмму.

Голограмма отражательная – голограмма, при регистрации которой объектная и опорная волны падают на регистрирующую среду с противоположных сторон (рис. 3). При освещении отражательной голограммы дифрагированная волна наблюдается в отражённом свете. На рисунке 3а показано расположение интерферирующих волн I_1 и I_2 относительно регистрирующей среды при регистрации элементарных отражательных голограмм по симметричной схеме, где $(\pi/2 - \theta)$ – угол падения излучения на регистрирующую среду, T – толщина регистрирующей среды, d – расстояние между двумя соседними максимумами интенсивности в регистрируемой

интерференционной картине. На рисунке 3б схематически показано расположение волн при освещении трёхмерной отражательной голограммы в условиях Брэгга ($\theta = \theta_{\text{Бр}}$, $I_{\text{пад}}$ – падающая, или восстанавливающая волна, $I_{\text{д}}$ – дифрагированная, или восстановленная волна, I_0 – волна нулевого порядка дифракции, прошедшая голограмму без изменения направления). Отражательные голограммы широко применяются в изобразительной голографии, т.к. проявляют объёмные свойства при регистрации на традиционных фотоматериалах толщиной 10÷15 мкм, что позволяет для восстановления объектной волны использовать источники со сплошным спектром излучения (стандартные лампы накаливания, Солнце).

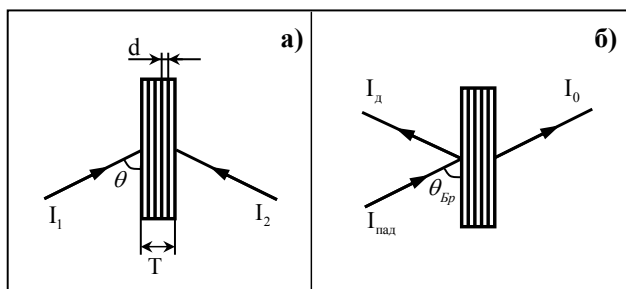


Рис. 3. Схема записи (а) и считывания (б) отражательной голограммы

Голограмма пропускающая – голограмма, при регистрации которой объектная и опорная волны падают на регистрирующую среду с одной стороны (рис. 4). При освещении пропускающей голограммы дифрагированная волна наблюдается в проходящем свете. Расположение интерферирующих волн I_1 и I_2 относительно регистрирующей среды при записи элементарных пропускающих голограмм по симметричной схеме показано на рисунке 4а, где θ – угол падения излучения на регистрирующую среду, T – толщина регистрирующей среды, d – расстояние между двумя соседними максимумами интенсивности в регистрируемой интерференционной картине. На рисунке 4б показано направление распространения волн при освещении трёхмерной пропускающей голограммы в условиях Брэгга ($\theta = \theta_{\text{Бр}}$, $I_{\text{пад}}$ – падающая, или восстанавливающая волна, $I_{\text{д}}$ – дифрагированная, или восстановленная волна, I_0 – волна нулевого порядка дифракции, прошедшая голограмму без

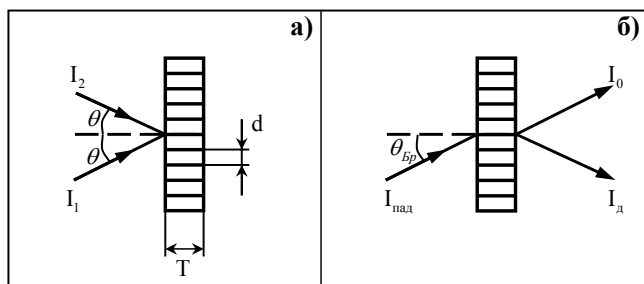


Рис. 4. Схема записи (а) и считывания (б) пропускающей голограммы

изменения направления). Пропускающие голограммы используются в качестве оптических элементов различного назначения, управляемых транспарантов в системах обработки информации.

Голограмма статическая – голограмма, оптические параметры которой после её получения не изменяются во времени. Как правило, процесс получения высокоэффективных статических голограмм состоит из двух основных этапов: 1 – регистрация голограммы (экспонирование регистрирующей среды), во время которой не происходит заметных изменений оптических параметров регистрирующей среды, а образуется так называемое скрытое изображение; 2 – постэкспозиционная обработка голограмм, которая включает в себя различные химические и физические процессы, усиливающие (преобразующие) скрытое изображение и фиксирующие голограмму. Сочетание возможности значительного усиления результата воздействия излучения на регистрирующую среду и фиксации голограммы обеспечивает двухступенному процессу получения голограмм высокую чувствительность и длительную сохраняемость записанной информации. Для получения статических голограмм используют галогенидосеребряные фотографические материалы, материалы на основе бихромированной желатины, фоторезисты, фототермопластики и т.д.

Области практического применения статических голограмм голографические оптические элементы, голографическая интерферометрия, изобразительная голография и т.д.

Голограмма сфокусированного изображения – голограмма, при регистрации которой изображение объекта (либо сам объект) располагается в плоскости регистрирующей среды или вблизи неё. При освещении такой голограммы трёхмерное изображение объекта пересекается с плоскостью голограммы, а угол, в пределах которого можно наблюдать изображение, ограничен апертурой оптической системы, используемой при регистрации голограммы (либо ограничен самой голограммой). Схема регистрации голограммы сфокусированного изображения (рис. 5) позволяет снизить требования к размерам, пространственной когерентности и монохроматичности источника излучения при восстановлении объектной волны и увеличить яркость изображения объекта, благодаря ограничению угла наблюдения.

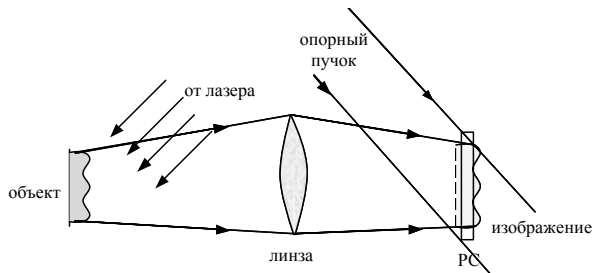


Рис.5. Принципиальная оптическая схема регистрации голограммы сфокусированного изображения. РС – регистрирующая среда.

Продолжение следует



ОБРАБОТКА ЦВЕТА ДЛЯ ЦИФРОВОГО КИНЕМАТОГРАФА 5:

Расчёт матриц, необходимых для обработки цифровых киноизображений



Thomas O. Maier

COLOR PROCESSING FOR DIGITAL CINEMA 5: Calculation of the matrices needed for Processing Digital Cinema images

■ Перевод В. Сычёва, к.т.н., ОАО «НИКФИ»

Продолжаем публикацию статей по цветовой обработке для цифрового кинематографа, основанных на Руководстве для инженеров SMPTE 432-1. Комитет DC28 надеется, что информация этого руководства будет более доступна, если опубликовать её в виде серии журнальных статей. В данной, пятой в серии, статье описан расчёт матриц, необходимых для обработки цифровых киноизображений. Эти матрицы понадобятся в постпроизводстве для обработки цифровых киноизображений и в цифровом проекторе, который будет использован для проекции цифровых киноизображений.

■ Все стандарты, которые будут необходимы для кодирования и декодирования цветовой информации для цифрового кинематографа, опубликованы или будут опубликованы в самом ближайшем будущем. Стандарт описывает только результат окончательного консенсуса людей, вовлечённых в написание этого стандарта, и не включает причины выбора того, что в него входит. Кроме того, поскольку каждый стандарт самодостаточен, не всегда ясно, как все стандарты, имеющие отношение к какому-либо вопросу, работают вместе. Поэтому было написано Руководство для инженеров [1]. Эта серия статей написана для того, чтобы сделать информацию Руководства более доступной.

Были адаптированы или находятся в процессе адаптации многие стандарты, связанные с демонстрацией в кинотеатрах изображений при помощи цифровых проекторов. Однако только пять стандартов [1–5] относятся к цветовой кодированию или цветовой воспроизведению в кинотеатре. В настоящей серии статей обсуждаются эти пять связанных с цветом стандартов.

Статьи фокусируются на цветовой кодировании и декодировании изображений для цифрового кинематографа в соответствии со стандартами SMPTE, рекомендованными практиками и инженерными руководствами. Статьи Сильвы [6] и книга Кеннела [7] дают существенно больше информации по полной технологии цифрового кинематографа. Матричные выражения, описанные в SMPTE RP 177–1993 «Вывод основных уравнений цветного телевидения» [8], хотя и написаны для расчёта матриц для телевидения, в равной мере применимы к расчёту матриц для цифрового кинематографа. Во второй статье Сильвы [9] обсуждается также расчёт матриц для цифрового кино.

При передаче файлов цифрового кинематографа существует два важных цветовых преобразования: (1) Кодированные значения Цифрового Мастера Источника (DSM) должны быть преобразованы в кодированные значения X'Y'Z' Цифрового Прокатного Мастера (DCDM), и (2) Кодированные значения X'Y'Z' DCDM должны быть преобразованы в значения RGB проектора.

Основные положения и теория

Хотя кодирование X'Y'Z' DCDM нелинейно, оно основано на линейной, аддитивной системе цветового кодирования XYZ, определённой CIE в 1931 году [10,11]. В телевидении также используется нелинейное R'G'B' кодирование, основанное на линейной аддитивной системе RGB. Математика преобразований между различными аддитивными устройствами отображения, будь они реальными, воображаемыми или теоретическими, одинакова. Используемые понятия не сложны для понимания; однако можно запутаться в математике из-за обилия расчётов, необходимых для различных преобразований. Хотя расчёты, описанные в SMPTE RP 177, определены для телевизионных систем, они применимы в равной мере к преобразованиям между кодированием DCDM и любым реальным аддитивным устройством отображения. Поэтому здесь будут рассмотрены эти расчёты, и разобран конкретный численный пример. Хотя эти уравнения относятся к теоретическому аддитивному устройству отображения, большинство аддитивных устройств отображения соответствуют им очень точно.

Есть два закона колориметрии, на которых основано DCDM кодирование, и которые являются стартовой точкой для всех последующих вычислений:

- Если два света имеют одинаковые значения координат CIE 1931 при одинаковых условиях рассматривания, эти два света будут совпадать для наблюдателя.
- Если свет со значениями CIE координат XYZ₁ прибавляется к свету со значениями CIE координат XYZ₂, значения цветовых координат комбинации этих светов будут равны XYZ₁+XYZ₂.

Необходимо сделать ещё два замечания для понимания последующих уравнений:

1. Во всех уравнениях значения XYZ и RGB нормированы. Это означает, что значение Y находится в диапазоне от 0 до 1, а значения X и Z масштабированы с тем же нормирующим коэффициентом, что и Y. Хотя значения Y ограничены диапазоном от 0 до 1, значения X и Z могут иметь верхнюю границу больше или меньше 1. Значения RGB находятся между 0 и 1 и могут рассматриваться как значения формирующих данный цвет базисных составляющих. Во многих приложениях необходимы нормированные значения, однако в других приложениях требуются абсолютные значения. Преобразование от нормированных к абсолютным значениям представляет операцию умножения – умножения нормированных значений на соответствующую константу. Поэтому, хотя следующие равенства используют нормированные значения XYZ и RGB, решение об использовании нормированных или абсолютных значений в конкретном месте остаётся за пользователем.

2. Предполагается, что световой выход устройства отображения, моделируемого этими уравнениями, прямо пропорционален значениям RGB. Существуют ситуации, когда это не так. Например, телевизор со слишком малым для него источником питания может создавать

очень яркие красные, зелёные или синие пиксели, или небольшую область пикселей на чёрном фоне. Но когда весь телевизионный экран белый, источник питания может не обеспечить такой же яркости белого, как сумма отдельно взятых красного, зелёного и синего; это проблема оборудования, а не уравнений.

Формирование матриц RGB – в – XYZ и XYZ – в – RGB, общие уравнения

Для описания всех линейных аддитивных устройств отображения цвета могут быть использованы одни и те же базовые уравнения. Материалы SMPTE RP 177, написанные для телевизионных систем, применимы также для систем цифровой проекции. Поэтому расчёты, описанные в этом RP, будут суммированы здесь, чтобы показать, как их применять к системам цифровой проекции. Этот раздел покажет, как использовать уравнения и производить расчёты, основываясь на информации, определённой для эталонного проектора. Описанные здесь матрицы применимы к линейным значениям XYZ и RGB, а не к гамма-кодированным (1/2.6) значениям. В данной статье гамма-кодированные значения будут обозначаться верхним штрихом ('). Поскольку гамма-кодированные значения нелинейны, они не участвуют в линейных матрично-векторных уравнениях, используемых в приложениях для цифрового кинематографа.

Есть два общих уравнения, описывающих соотношение между значениями цветовых координат XYZ и аппаратными значениями RGB:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = NPM * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad 1)$$

где XYZ – нормированные значения координат CIE, нижние индексы R,G,B относятся к красному, зелёному и синему базисным цветам, и RGB – нормированные линейные значения RGB или нормированные линейные количества базисных цветов. NPM – нормированная матрица базиса (normalized primary matrix).

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = NPM^{-1} * \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad 2)$$

Равенство 1 показывает, как перейти от значений RGB к координатам XYZ, и Равенство 2 показывает, как перейти от координат XYZ к значениям RGB. Связь между нормированными и абсолютными значениями XYZ эталонного проектора задаётся Равенством 3. Значение 48 появилось из определения белой точки 48 кд/м².

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{Normalized} = \begin{pmatrix} 1 \\ 48 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_{Absolute} \quad 3)$$

Формирование матриц RGB – в – XYZ и XYZ – в – RGB, Эталонный Проектор

Таблица A-1 в SMPTE 431-2 определяет базисные цвета, обеспечивающие минимальную гамму эталонного проектора, как: Красный 0.680x, 0.320y, 10.1Y, Зелёный 0.265x,

0.690у, 34.6У, и Синий 0.150х, 0.060у, 3.3У. SMPTE 431-1 определяет белую точку как 0.314х, 0.351у, 48.0У. Проблема с этими значениями состоит в том, что они недостаточно точны для некоторых расчётов, основанных на этих значениях, даже притом, что эти значения заданы с точностью, превышающей любые достоверные измерения. Например, кодированные значения X'Y'Z', дающие значения хуУ, ближайшие к спецификации базисного красного, равны [2901 2171 0], но Z' может иметь любое значение между 0 и 180, и расчётные значения хуУ будут находиться в пределах точности спецификации. Если значение Z' равно 180, значения хуУ равны [0.679639 0.319867 0.000494 10.0586]. Если значение Z' равно 100, как указано в Таблице А-4 SMPTE 431-2, значения хуУ равны [0.679902 0.319991 0.000107 10.0586], но в Таблице А-4 они показаны как [0.6800 0.3200 10.06] – ошибка 0.0001 в значении х. Изменение Z' от 0 до 1 приводит к изменению значения z на 0.0000000007. Следовательно, значения хуУ для базисного красного должны быть заданы до 10 знака после запятой, чтобы определить Z' с точностью до единиц. Вопрос в том, что хотя спецификации базиса и белой точки, заданной до трёх значащих цифр, достаточно для любых измерений, этого недостаточно для других расчётов, зависящих от большего количества цифр. Для таких расчётов, требующих большей точности исходных значений, лучшим выходом является добавление нулей к значениям хуу и значению белой точки У. Тогда с этими более точными числами можно делать дополнительные вычисления.

В Таблице 1 приведены значения ху, абсолютные и нормированные значения XYZ базиса эталонного проектора и белой точки с большей точностью, чем можно найти в любом стандарте SMPTE.

Если доступна вся информация Таблицы 1, можно, используя нормированные данные XYZ из Таблицы 1 и Равенство 1, определить матрицу NPM:

$$NPM = \begin{pmatrix} 0.445170 & 0.277134 & 0.172283 \\ 0.209492 & 0.721595 & 0.068913 \\ 0.000000 & 0.047061 & 0.907355 \end{pmatrix} \quad 4)$$

Вся информация Таблицы 1 редко бывает доступна, т.к. для базиса указывают обычно его координаты цветности ху, и для белой точки указывают координаты цветности ху и яркость. На самом деле, данные XYZ в Таблице 1 были вычислены из Уравнения 1 по уже рассчитанной матрице NPM. Лучший метод расчёта NPM описан в SMPTE RP 177, а вычисления показаны в Приложении А.

RP 177 предлагает рассчитывать NPM с точностью до десяти значащих цифр. Поэтому матрица NPM преобразования RGB эталонного проектора в XYZ должна выглядеть так:

$$NPM = \begin{pmatrix} 0.4451698156 & 0.2771344092 & 0.1722826698 \\ 0.2094916779 & 0.7215952542 & 0.0689130679 \\ 0.0000000000 & 0.0470605601 & 0.9073553944 \end{pmatrix} \quad 5)$$

Для цветовой точности значения яркости в SMPTE 431-2 заданы с большей точностью, чем можно измерить. Поскольку базис и белая точка эталонного проектора заданы в Рекомендуемой Практике и не могут порождать погрешностей измерения, уместно рассчитывать NPM по стандартизованным координатам цветности базиса и белой точки и яркости белой точки, и производить вычисления до десяти значащих цифр, как рекомендовано RP 177.

В цифровом проекторе необходима не та матрица NPM, которая показана выше, а обратная к ней. Это потому, что необходимо преобразование XYZ – в – RGB, а не RGB – в – XYZ. Обращение NPM Равенства 5 даёт:

$$NPM^{-1} = \begin{pmatrix} 2.7253940305 & -1.0180030062 & -0.4401631952 \\ -0.7951680258 & 1.6897320548 & 0.0226471906 \\ 0.0412418914 & -0.0876390192 & 1.1009293786 \end{pmatrix} \quad 6)$$

Это те же матрицы, что приведены в Приложении С к SMPTE 431-2, за исключением того, что здесь они приведены с десятью знаками после запятой.

Таблица 1. Значения хуУ, абсолютные и нормированные значения XYZ базисных цветов эталонного проектора

Базисный цвет	Абсолютные значения XYZ			Координаты цветности		Яркость
	X	Y	Z	x	y	У, кд/м ²
Красный	21.36815	10.05560	0.00000	0.680000	0.320000	10.05560
Зелёный	13.30245	34.63657	2.25891	0.265000	0.690000	34.63657
Синий	8.26957	3.30783	43.55306	0.150000	0.060000	3.30783
Белый	42.94017	48.00000	45.81197	0.314000	0.351000	48.00000
Базисный цвет	Нормированные значения XYZ			Координаты цветности		Яркость
	X	Y	Z	x	y	У, кд/м ²
Красный	0.445170	0.209492	0.000000	0.680000	0.320000	10.05560
Зелёный	0.277134	0.721595	0.047061	0.265000	0.690000	34.63657
Синий	0.172283	0.068913	0.907355	0.150000	0.060000	3.30783
Белый	0.894587	1.000000	0.954416	0.314000	0.351000	48.00000

Объединяя равенства 1 и 5, получаем:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4451698156 & 0.2771344092 & 0.1722826698 \\ 0.2094916779 & 0.7215952542 & 0.0689130679 \\ 0.0000000000 & 0.0470605601 & 0.9073553944 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad 7)$$

Аналогично, из равенств 2 и 6 получаем:

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.7253940305 & -1.0180030062 & -0.4401631952 \\ -0.7951680258 & 1.6897320548 & 0.0226471906 \\ 0.0412418914 & -0.0876390192 & 1.1009293786 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad 8)$$

Эти два равенства связывают линейные значения XYZ с линейными значениями RGB эталонного проектора и поэтому являются крайне полезными для многих расчётов, которые необходимо выполнять при создании цифрового контента. Если белая точка или базис цифрового проектора не совпадают в точности с параметрами эталонного проектора, эти матрицы должны быть пересчитаны, и использоваться вместо матриц эталонного проектора.

В третьей статье [12, 13] было показано, что в эталонном проекторе линейные значения RGB должны иметь не менее 16 бит, чтобы избежать оконтуривания и донести всю информацию, содержащуюся в 12-битных кодированных значениях X'Y'Z'. Если матрицу в Равенстве 8 округлить до четырёх знаков после запятой, максимальная ошибка линейных RGB будет меньше 10 кодовых единиц. Если Равенство 8 округлить до пяти знаков после запятой, максимальная ошибка линейных RGB будет меньше 0.5 кодовых единиц. И если Равенство 8 округлить до шести знаков после запятой, максимальная ошибка линейных RGB будет меньше 0.03 кодовых единиц. Следовательно, использование в Равенстве 8 пяти или более знаков после запятой обеспечит передачу всей информации, имеющейся в кодовых значениях X'Y'Z', и даже использование четырёх знаков, скорее всего, не вызовет видимых артефактов. В SMPTE 431-2 в Равенствах 7 и 8 приведены четыре знака после запятой.

Объяснение Приложения С в SMPTE 431-2, Эталонный Проектор (Пример преобразования R'G'B' - в - XYZ - в - X'Y'Z')

SMPTE 431-2 имеет дело с эталонным проектором и его окружением. Приложение С в SMPTE 431-2 описывает путь обработки от кодированных значений R'G'B' к XYZ и к кодированным значениям X'Y'Z'. Поскольку это приложение вызвало затруднения, этот раздел даёт более детальное описание предположений, лежащих в основе преобразования, и более детальное описание самого преобразования. В этом разделе «Приложение С» относится к Приложению С в SMPTE 431-2.

В Приложении С сделано пять предположений:

1. Контент создаётся устройством, которое формирует на выходе кодированные значения RGB в диапазоне от 0 до 4095 и отправляет их на аддитивное устройство воспроизведения с тремя базисными цветами. Эти кодиро-

ванные значения называются в Приложении С – R'G'B'. Предполагается, что этим аддитивным устройством воспроизведения является цифровой проектор. Поскольку цифровой проектор обрабатывает эти кодированные значения RGB равномерно и единообразно, изменения RGB будут производить плавные изменения отображаемого цвета. Поэтому это разумный способ изготовления цифровых изображений.

2. Цифровой проектор содержит путь обработки, имеющий, по крайней мере, два этапа в следующем порядке:

- одномерная табличная функция (1D LUT lookup table), которая преобразует входные значения RGB во внутренние RGB;

- матрица 3x3, которая преобразует эти внутренние значения RGB в другой набор внутренних значений RGB.

3. Пользователь может заполнить табличную функцию 1D LUT и матрицу 3x3 собственными значениями или определить эти значения. Работать будет в обоих случаях, но, как будет показано, лучше, если пользователь может определить эти значения.

4. Значения RGB после матрицы 3x3 линейно связаны с интенсивностями трёх базисных цветов.

5. Базис цифрового проектора имеет координаты цветности x_u , приведённые в Таблице 1, и белая точка цифрового проектора имеет координаты цветности x_u (0.314 0.351). Это значит, что базис и белая точка цифрового проектора в точности соответствуют характеристикам эталонного проектора.

В Приложении С кодированные значения, подаваемые в цифровой проектор, называются R'G'B'. Связь между входными кодированными R'G'B' значениями и линейными значениями RGB установлена как:

$$R = \left(\frac{R'}{4095} \right)^{2.6} \quad 9)$$

Аналогичные соотношения связывают G' с G и B' с B. Число 4095 в знаменателе равенства 9 показывает, что R'G'B' кодированы с глубиной 12 бит. Вообще, 12-битное кодирование для R'G'B' необязательно; однако, поскольку в эталонном проекторе в SMPTE 432-2 используются 12-битные числа, это разумное нормирование входных кодированных значений. Это равенство реализуется в цифровом проекторе с помощью 1D LUT, как было принято во втором и третьем предположениях. Как отмечалось выше, для исключения оконтуривания линейные значения RGB должны быть определены с глубиной квантования не менее 16 бит.

Во втором предположении названа также матрица 3x3. В данном случае значения RGB будут пропорциональны интенсивностям базисных цветов только при единичной матрице. Обычно не принято устанавливать единичную матрицу вслед за 1D LUT, реализующей степенную функцию с показателем 2.6; однако в данном случае матрица должна быть единичной. Совокупным результатом предположения 4, согласно которому значения RGB пропорциональны интенсивностям базиса проектора, и пред-

положения 5, согласно которому базис и белая точка цифрового проектора соответствуют значениям эталонного проектора, является то, что Равенство 7 может быть использовано для расчёта значений XYZ изображения, получаемого в результате подачи кодированных значений R'G'B' на цифровой проектор.

Однако расчёт значений XYZ каждого пикселя изображения не завершает получения кодированных значений X'Y'Z' DCDM. Для расчёта кодированных значений X'Y'Z' нужно использовать кодирующие равенства DCDM. В Приложении С к SMPTE 432-2, как и в 428-1, символ CV_x используется вместо X', значение L = 48.0.

$$CV_{X'} = INT \left[4095 * \left(\frac{L * X}{52.37} \right)^{\frac{1}{2.6}} \right] \quad 10)$$

$$CV_{Y'} = INT \left[4095 * \left(\frac{L * Y}{52.37} \right)^{\frac{1}{2.6}} \right] \quad 11)$$

$$CV_{Z'} = INT \left[4095 * \left(\frac{L * Z}{52.37} \right)^{\frac{1}{2.6}} \right] \quad 12)$$

Декодирующие равенства DCDM:

$$X = \left(\frac{52,37}{L} \right) * \left(\frac{X'}{4095} \right)^{2.6} \quad 13)$$

$$Y = \left(\frac{52,37}{L} \right) * \left(\frac{Y'}{4095} \right)^{2.6} \quad 14)$$

$$Z = \left(\frac{52,37}{L} \right) * \left(\frac{Z'}{4095} \right)^{2.6} \quad 15)$$

Для полноты описания, и поскольку координаты XYZ в некоторых таблицах преобразованы в координаты цветности хуз, приводим связывающие их равенства:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad 16)$$

Выше объяснено, как определять кодированные значения X'Y'Z', которые представляют контент, подготовленный в соответствии с приведёнными выше предположениями. Возможно, не все захотят создавать контент таким образом. Однако, это разумный путь, и хотя бы кто-нибудь его применит. Есть одна ясная причина выбора такого пути. Исходные кодированные значения R'G'B' преобразуются в проекторе в линейные RGB, представляющие относительные интенсивности базиса, где 0 означает выключенный базисный цвет, а 1 – максимальный сигнал. Поэтому весь контент окажется в пределах гаммы эталонного проектора и никакого согласования гаммы для проектора, отвечающего спецификации SMPTE 432-2, не потребуется. Если контент создан в значениях X'Y'Z', из самих кодированных значений не ясно, находится ли кодируемый цвет внутри или вне цветовой гаммы эталон-

ного проектора. По этой причине в Приложении С описана эта серия уравнений и вычислений.

Приложение С не останавливается на расчёте значений X'Y'Z' по значениям R'G'B'. Приложение С описывает также минимальную обработку, которая должна присутствовать в цифровом проекторе, чтобы гарантировать, что изображение на экране окажется точно таким же, каким желали видеть его создатели. В этом случае кодированные значения, передаваемые на проектор, должны быть не R'G'B', а X'Y'Z'. Предположения со второго по пятое остаются справедливыми для цифрового проектора. Та же 1D LUT в цифровом проекторе, которая использовалась для преобразования входных кодированных значений R'G'B' в линейные значения RGB, будет использоваться для преобразования кодированных значений X'Y'Z' в линейные значения XYZ. В этом случае линейные XYZ должны быть преобразованы в линейные RGB, пропорциональные интенсивностям базиса. Следовательно, Равенство 8 показывает необходимую обработку, матрица 3x3 в этом равенстве должна быть введена в цифровой проектор вместо единичной матрицы, используемой ранее. Выходные значения RGB будут пропорциональны интенсивностям базиса и создадут на экране изображение, определённое входными кодированными значениями X'Y'Z'.

Часто проще выполнить серию вычислений, если известны реальные значения, а не просто переменные. Поэтому следующие таблицы показывают описанную выше обработку на примере расчёта нескольких наборов кодированных цветов.

Таблица 2. Входные кодированные значения R'G'B' некоторых цветов

Цвет	R'	G'	B'
Белый	4095	4095	4095
Серый	2000	2000	2000
Базисный зелёный	0	4095	0
Красноватый	3000	1000	2000
Синеватый	1000	2000	3000

Таблица 3. Линейные значения RGB, рассчитанные по кодированным значениям R'G'B' таблицы 2

Цвет	R	G	B
Белый	1.0000	1.0000	1.0000
Серый	0.1552	0.1552	0.1552
Базисный зелёный	0.0000	1.0000	0.0000
Красноватый	0.4453	0.0256	0.1552
Синеватый	0.0256	0.1552	0.4453

Таблица 4. Значения XYZ и хуz, рассчитанные по линейным значениям RGB таблицы 3

Цвет	X	Y	Z	x	y	z
Белый	0.8946	1.0000	0.9544	0.3140	0.3510	0.3350
Серый	0.1388	0.1552	0.1481	0.3140	0.3510	0.3350
Базисный зелёный	0.2771	0.7216	0.0471	0.2650	0.6900	0.0450
Красноватый	0.2321	0.1224	0.1420	0.4674	0.2466	0.2860
Синеватый	0.1311	0.1480	0.4114	0.1899	0.2144	0.5957

Таблица 5. Кодированные значения DCDM X'Y'Z', рассчитанные по значениям XYZ таблицы 4

Цвет	X'	Y'	Z'
Белый	3794	3960	3890
Серый	1853	1934	1900
Базисный зелёный	2417	3493	1222
Красноватый	2258	1766	1869
Синеватый	1813	1899	2814

Таблица 6. Значения XYZ и хуz, рассчитанные по кодированным значениям X'Y'Z' таблицы 5

Цвет	X	Y	Z	x	y	z
Белый	0.8946	1.0000	0.9547	0.3140	0.3510	0.3351
Серый	0.1388	0.1552	0.1482	0.3140	0.3509	0.3351
Базисный зелёный	0.2770	0.7216	0.0470	0.2649	0.6901	0.0450
Красноватый	0.2321	0.1225	0.1420	0.4674	0.2467	0.2859
Синеватый	0.1312	0.1480	0.4114	0.1900	0.2143	0.5958

Таблица 7. Линейные значения RGB, рассчитанные по кодированным значениям XYZ таблицы 6

Цвет	R	G	B
Белый	1.0000	0.9999	1.0003
Серый	0.1552	0.1551	0.1552
Базисный зелёный	-0.0003	1.0001	0.0000
Красноватый	0.4454	0.0257	0.1551
Синеватый	0.0258	0.1550	0.4453

Таблица 2 содержит цвета и их входные кодированные значения.

Таблица 3 показывает значения RGB после Равенства 9.

Таблица 4 показывает координаты XYZ после Равенства 7 и координаты цветности хуz, рассчитанные по этим значениям.

Таблица 5 показывает 12-битные кодированные значения X'Y'Z' DCDM после Равенств 10, 11 и 12.

Таблица 6 показывает координаты XYZ после Равенств 13, 14 и 15 и координаты цветности хуz, рассчитанные по этим значениям.

Таблица 7 показывает значения RGB после Равенства 8. Эти значения RGB слегка отличаются от значений RGB в Таблице 3 из-за операции округления значений X'Y'Z' в Равенствах 10, 11 и 12. В проекторе значения ниже 0 и выше 1 обрезаются до 0 и 1 соответственно. Получающаяся разница не превышает 0.0003 и не будет заметна.

Приложение А. Расчёт NPM по методу RP 177

В RP 177 дана инструкция по расчёту NPM. Ниже собраны равенства и вычисления из RP 177.

Вычисления начинаются с координат цветности x,y белого (0.314 0.351) и базиса эталонного проектора, показанных в Таблице 1. Необходима также координата цветности z эталонного белого и базиса:

$$z = 1 - (x + y) \tag{A-1}$$

Сформируем из координат цветности [x y z] базиса и эталонного белого следующие матрицу P и вектор W:

$$P = \begin{pmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{pmatrix} \tag{A-2}$$

$$W = \begin{pmatrix} x_W/y_W \\ 1 \\ z_W/y_W \end{pmatrix} \tag{A-3}$$

где нижние индексы R,G,B относятся к красному, зелёному и синему базисным цветам, индекс W относится к эталонному белому. Вектор W, представляющий эталонный белый,

нормирован таким образом, что коэффициент яркости равен 1, т.е. Y = 1.0.

Рассчитаем вектор, получаемый умножением вектора W на матрицу, обратную P. Обозначение P⁻¹ указывает на операцию обращения матрицы. Полученные элементы C_R, C_G, C_B являются коэффициентами, нормирующими интенсивности базиса таким образом, что единичные количества базисных цветов образуют белую точку с коэффициентом яркости, равным 1.

$$\begin{pmatrix} C_R \\ C_G \\ C_B \end{pmatrix} = P^{-1} * W \tag{A-4}$$

Сформируем диагональную матрицу из элементов C_R, C_G, C_B:

$$C = \begin{pmatrix} C_R & 0 & 0 \\ 0 & C_G & 0 \\ 0 & 0 & C_B \end{pmatrix} \tag{A-5}$$

Вычисляем окончательную нормированную матрицу NPM как произведение матриц P и C:

$$NPM = \begin{pmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Y_G & Z_B \end{pmatrix} = P * C \tag{A-6}$$

Эта нормированная матрица базиса связывает линейные сигналы RGB со значениями координат XYZ:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = NPM * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad A-7)$$

Равенство A-7 такое же, как Равенство 1.

В качестве примера использования приведённых равенств была рассчитана NPM эталонного проектора. Расчёты начались с координат цветности x,y белого эталона (0.314 0.351) и базиса эталонного проектора согласно Таблице 1. Хотя матрицы в Равенствах A-8 – A-12 показаны до четырёх знаков после запятой, расчёты производились с максимальной для компьютера точностью. Затем Равенства A-13 – A-14 были записаны с десятью знаками после запятой, как рекомендовано RP 177.

Из равенства A-2 получаем:

$$P = \begin{pmatrix} 0.6800 & 0.2650 & 0.1500 \\ 0.3200 & 0.6900 & 0.0600 \\ 0.0000 & 0.0450 & 0.7900 \end{pmatrix} \quad A-8)$$

Из равенства A-3 получаем:

$$W = \begin{pmatrix} 0.3140 / 0.3510 & & \\ & 1 & \\ 0.3350 / 0.3510 & & \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.8946 & & \\ & 1 & \\ & & 0.9544 \end{pmatrix} \quad A-9)$$

В Равенстве A-4 необходима обращённая матрица P:

$$P^{-1} = \begin{pmatrix} 1.7842 & -0.6664 & -0.2882 \\ -0.8316 & 1.7671 & 0.0237 \\ 0.0474 & -0.1007 & 1.2645 \end{pmatrix} \quad A-10)$$

Из равенства A-4 получаем:

$$\begin{pmatrix} C_R \\ C_G \\ C_B \end{pmatrix} = P^{-1} * W = \begin{pmatrix} 1.7842 & -0.6664 & -0.2882 \\ -0.8316 & 1.7671 & 0.0237 \\ 0.0474 & -0.1007 & 1.2645 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0.8946 \\ 1.0000 \\ 0.9544 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.6547 \\ 1.0458 \\ 1.1486 \end{pmatrix} \quad A-11)$$

Согласно Равенству A-6, вычисляем NPM:

$$NPM = \begin{pmatrix} X_R & X_G & X_B \\ Y_R & Y_G & Y_B \\ Z_R & Z_G & Z_B \end{pmatrix} = P * C = \begin{pmatrix} 0.6800 & 0.2650 & 0.1500 \\ 0.3200 & 0.6900 & 0.0600 \\ 0.0000 & 0.0450 & 0.7900 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} 0.6547 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0458 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.1486 \end{pmatrix} \quad A-12)$$

$$NPM = \begin{pmatrix} 0.4451698156 & 0.2771344092 & 0.1722826698 \\ 0.2094916779 & 0.7215952542 & 0.0689130679 \\ 0.0000000000 & 0.0470605601 & 0.9073553944 \end{pmatrix} \quad A-13)$$

Равенство A-7 выглядит следующим образом:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4451698156 & 0.2771344092 & 0.1722826698 \\ 0.2094916779 & 0.7215952542 & 0.0689130679 \\ 0.0000000000 & 0.0470605601 & 0.9073553944 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad A-14)$$

Выражение признательности

Данная статья основана на информации Инженерного Справочника SMPTE 432-1 «Обработка цвета для цифрового кинематографа», редактором которого был автор. Автор благодарит всех, внёсших вклад в создание Инженерного Справочника, за полезные и многочисленные предложения, направленные на его улучшение. Автор благодарит также фирму Eastman Kodak за поддержку данной работы. ■

Примечание редакции

В тексте данной статьи встречаются термины, не имеющие устоявшихся аналогов в русском языке. Предлагаемый перевод таких терминов приводится в Словаре используемых терминов в журнале МТК № 9, 2008.

ЛИТЕРАТУРА

1. SMPTE 432-1. Color Processing for D-Cinema // www.smpite.org.
2. SMPTE 428-1. Digital Cinema Distribution Master (DCDM)—Image Characteristics // www.smpite.org.
3. SMPTE 431-1. D-Cinema Exhibition Screen Luminance Level, Chromaticity and Uniformity // www.smpite.org.
4. SMPTE 431-2. Reference Projector and Environment for Display of DCDM in Review Rooms and Theaters // www.smpite.org.
5. SMPTE 431-3. Projection Image Measurements // www.smpite.org.
6. Silva J. Digital Cinema Image Representation Signal Flow. SMPTE Mot. Imag. J., 115: 137-152, April 2006.
7. Kennel G. Color and Mastering for Digital Cinema, Focal Press: New York, NY, 2007.
8. SMPTE RP 177-1993. Derivation of Basic Television Color Equations // www.smpite.org.
9. Silva J. The Role of Transform Matrices in Digital Cinema. SMPTE Mot. Imag. J., 114: 402-414, Oct./Nov. 2005.
10. CIE Publication 15.2 (1986), Colorimetry, 2nd Edition, 1986.
11. CIE Publication 15:2004, Colorimetry, 3rd Edition, 2004.
12. Maier T. Color Processing for Digital Cinema 3: Minimum Linear Bit Depth, Encoding of Near Blacks, Gamut Mapping, and Colorimetry for the Tolerances in the Standards SMPTE Mot. Imag. J., 116:500-509, Nov./Dec. 2007.
13. МТК 2008, №9.



ОБРАБОТКА ЦВЕТА ДЛЯ ЦИФРОВОГО КИНЕМАТОГРАФА 6:

Пример цветовой обработки
в сквозном процессе



Thomas O. Maier

COLOR PROCESSING FOR DIGITAL CINEMA 6: An example of color processing through the entire system

■ Перевод В. Сычёва, к.т.н., ОАО «НИКФИ» ■

В данной статье (шестой в серии статей по цветовой обработке для цифрового кинематографа, основанных на Руководстве для инженеров SMPTE 432-1) описаны некоторые методы создания цифровой прокатной копии (DCDM). Большая часть статьи относится к исходному цифровому мастеру (digital source master – DSM), не являющемуся предметом стандартизации SMPTE, поскольку всё, что к нему относится, имеет свои особенности в каждой лаборатории постпроизводства. Но даже притом, что каждая лаборатория захочет создавать DSM своим собственным образом, есть некоторые общие соображения, относящиеся ко всем процессам создания DSM, и из него – DCDM.

■ Были приняты или находятся в процессе принятия многие стандарты, относящиеся к демонстрации в кинотеатрах изображений при помощи цифровых проекторов. Однако только пять стандартов [1-5] относятся к цветовому кодированию или цветовому воспроизведению в кинотеатре. В настоящей серии статей обсуждаются эти пять связанных с цветом стандартов. Данная, шестая в серии, статья описывает некоторые методы создания цифровой прокатной копии (DCDM). Статьи фокусируются на цветовом кодировании и декодировании изображений для цифрового кинематографа в соответствии со стандартами SMPTE, рекомендованными инженерами-практиками. Статья Сильвы [6] и книга Кеннела [7] дают существенно больше информации по полной технологии цифрового кинематографа.

Можно создавать контент для цифровой проекции в цветовых кодах DCDM, однако маловероятно, что все будут готовить контент таким способом. Наиболее вероятно, он будет создан в виде так называемого исходного цифрового мастера (DSM), и затем контент DSM будет преобразован в DCDM. DSM не был стандартизован,

поскольку существует много способов определения и модификации цвета в DSM. Создание DSM для любого контента и преобразование DSM для конвертации в DCDM зависит от конкретной реализации и поэтому никогда не может быть стандартизовано. В зависимости от природы данных DSM пользователю понадобится рассчитать конкретное преобразование или преобразование для каждой ситуации. В процессе написания Руководства для инженеров SMPTE 432-1 множество людей запрашивали раздел создания контента и преобразования в DCDM, хотя это не является предметом стандартизации. Этот раздел был написан, и эта же тема охватывается данной статьёй. В статье представлены также равенства и несколько численных примеров цветовых преобразований, начиная с DSM до цифровой проекции на экране кинотеатра.

Предполагается, что цифровой проектор имеет характеристики эталонного проектора, определённые SMPTE 432-2. Дополнительно предполагается, что в цифровом проекторе осуществляются следующие стадии обработки:

- Преобразование гамма-кодированных значений в значения, линейно связанные со светом, который будет проецироваться на экран. В случае эталонного проектора и кодированных значений DCDM эта гамма-функция является степенной с показателем 2.6.

- Преобразование линейных значений из входных кодированных значений базисных цветов и белой точки в действительные значения базиса и белой точки. В случае эталонного проектора и кодированных значений DCDM это преобразование представляет матрицу 3x3, данную в SMPTE 431-2 и SMPTE 432-1. Однако матрица 3x3 обычно зависит от базиса и белой точки при кодировании и базиса и белой точки данного проектора. Метод расчёта этой 3x3 матрицы описан в предыдущей, пятой статье серии.

Проектор может иметь больше приведённых выше шагов обработки или объединять оба шага в один. Однако в следующем разделе будут обсуждаться эти два преобразования, чтобы показать, как может быть произведён и показан DSM контент.

Обзор спецификации цвета в DSM

Существует множество способов создания цвета в DSM. В качестве примера приведём пять методов:

1. Попиксельно задать кодированные значения, подать их на эталонный проектор и модифицировать эти значения до тех пор, пока не будет получен желаемый цвет.

2. Начать с изображения, определённого в кодированных значениях, изменить их, подать на эталонный проектор, посмотреть результирующие цвета и модифицировать кодированные значения до получения желаемого изображения.

3. Начать с изображения, определённого в кодированных значениях, изменить их, подать на устройство отображения (не эталонный проектор), посмотреть результирующие цвета, модифицировать кодированные значения до получения желаемого изображения и конвертировать колориметрические координаты изображения на устройстве отображения в кодированные значения X'Y'Z'.

4. Использовать электронную камеру, захватывающую значения CIE XYZ каждого пикселя исходного изображения, преобразовать XYZ в X'Y'Z' и подать кодированные значения X'Y'Z' на эталонный проектор.

5. Начать с изображения, заданного значениями копировальных плотностей (SMPTE RP 180-1999) [8], модифицировать эти значения, использовать преобразование копировальных плотностей в X'Y'Z', подать кодированные значения X'Y'Z' на эталонный проектор, посмотреть полученное изображение и модифицировать значения копировальных плотностей, пока не будет достигнуто желаемое изображение.

Это далеко не все методы получения DSM изображения, но они показывают разнообразие путей и вычислений, связанных с каждым методом. Различие описываемых методов показывает, почему не рекомендуется стандартизировать технологию создания DSM. Существует

много возможных вариантов работы, и нецелесообразно стандартизовать каждый из них. Этот раздел показывает также, что имеющиеся стандарты и рекомендации достаточно точны в описываемой цветовой обработке для получения при проекции желаемого вида окончательного изображения. Кроме того, если понадобится кодировать DSM изображения с использованием другого метода кодирования или формата файлов, кодирование изображений в DSM может быть стандартизовано на основе существующих стандартов, или могут быть написаны новые стандарты.

Метод 1. Цветовые кодирования DSM и DCDM идентичны: строим изображение с чистого экрана

Первый пример, являющийся, конечно, самым прямым методом кодирования цвета в DSM, состоит в задании для каждого пикселя трёх 12-битных кодированных значений, передаче их на эталонный проектор и просмотра результата на экране. Если цвет на экране не соответствует желаемому, изменяем кодированные значения, пока не появится нужный цвет. Этот трудоёмкий процесс проб и ошибок может быть использован для создания отдельных изображений и, в конце концов, контента целого фильма. Или таким образом может быть попиксельно модифицирована часть изображения для создания желаемого результата. Не требуется никаких знаний о кодирующих и декодирующих равенствах. Этот простой пример демонстрирует процесс определения DSM в терминах кодированных значений X'Y'Z', и эти кодированные значения могут быть непосредственно преобразованы в DCDM. Хотя маловероятно, что кто-то будет вручную действовать подобным образом, попиксельное создание изображений возможно для компьютерных программ.

Метод 2. Цветовые кодирования DSM и DCDM идентичны: строим изображение из существующего изображения DCDM

Второй пример аналогичен первому за исключением того, что начинается процесс с существующего изображения вместо попиксельного построения изображения. Этот процесс очень похож на корректировку цвета изображения при цветоустановке. Цветоустановщик начинает не с чистого экрана, а с цифрового или аналогового изображения, и может вносить в него модификации, двигая ручки, рычаги или манипуляторы и ничего не зная об уравнениях или связях между этими движениями. Если эти движения регулируют цифровые кодированные значения, получается окончательное изображение, определённое в единицах цветового пространства устройства отображения. Однако кто-то должен был разработать систему таким образом, чтобы эти движения производили необходимую регулировку отображаемого цвета, и этот человек должен иметь представление о цветовом кодировании. Если на цифровой проектор подаются кодированные значения X'Y'Z', понятно, что сам DSM определён в единицах X'Y'Z', и никаких дополнительных преобразований не требуется.

Приложение C SMPTE 431-2 и пятая статья настоящей серии, опубликованная в этом номере журнала, описывают несущественную вариацию метода, данного в предыдущем параграфе. Вместо определения изображения в единицах X'Y'Z' и использования в проекторе нормального пути обработки для получения правильных цветов, изображение может быть определено в единицах кодированных значений R'G'B'. Если кодированные значения R'G'B' в точности такие, как определено в Приложении C SMPTE 431-2, первым в проекторе осуществляется гамма-преобразование с показателем 2.6, используемое для входных кодированных значений DCDM; однако, матрица 3x3 является единичной. В общем случае R'G'B' может быть кодировано не с гаммой 1/2.6, и преобразование в проекторе будет не гамма-функцией с показателем 2.6. Аналогично, матрица 3x3 может не быть единичной. Хотя невозможно дать здесь все типы R'G'B' кодирования, в нижеследующих примерах объясняются общие принципы, на основе которых преобразуются кодированные значения R'G'B' в X'Y'Z'.

Метод 3. Изображение DSM отображается на устройстве, не являющемся эталонным проектором

Третий пример включает преобразование колориметрии отображения на произвольном устройстве в кодированные значения X'Y'Z' DCDM таким образом, чтобы та же колориметрия была отображена на эталонном проекторе. Этот процесс, в котором цвета могут быть кодированы в DSM, очень похож на описанные выше методы. В этом процессе предполагается, что кодированные в DSM значения представляют кодированные значения R'G'B', которые будут переданы на устройство отображения. Характеристики этого устройства отображения намеренно были выбраны не соответствующими никакому существующему устройству. Цель в данном случае состоит в том, чтобы показать, как можно проанализировать и кодировать в значения X'Y'Z' изображение на произвольном устройстве отображения таким образом, чтобы

точно такое же изображение можно было воспроизвести на эталонном проекторе. В этом разделе, который может показаться чрезмерно детализированным, приведены как используемые уравнения, так и числовые значения, получаемые с их помощью. Следующие предположения приняты об устройстве отображения:

- Оно принимает 10-битные кодированные значения.
- Его базис и белая точка, показанные в Таблице 1, похожи, но слегка отличаются от значений базиса и белой точки, заданных в таблице Оптоэлектронного преобразования Части 1 Rec. ITU-R BT 709-5 [9]. Координаты цветности белой точки и базиса устройства отображения выбраны в Таблице 1 произвольно.
- Гамма устройства отображения принята равной 2.34. Значение гаммы устройства отображения может быть определено при помощи процесса, аналогичного методу, описанному в четвёртой статье настоящей серии [10]. На устройство отображения нужно подавать серию кодированных значений, измерять создаваемую устройством отображения яркость и строить график log яркости от log кодированного значения. Наклон аппроксимирующей прямой определяет значение гаммы. Значительное отклонение от прямолинейности означает, что устройство отображения не следует простой гамма-функции, и для него может потребоваться более сложная модель. В данном примере предполагается, что устройство отображения соответствует простой гамма-функции со значением гаммы, равным 2.34.
- Яркость белой точки устройства отображения установлена 48.00 кд/м² и соответствует, таким образом, яркости белого эталонного проектора.

Колориметрия белого и базиса эталонного проектора приведены в таблице 2.

Таблицы 1 и 2 показывают, что красный и синий базисные цвета устройства отображения имеют большую яркость, чем красный и синий базисные цвета эталонного проектора. Отсюда можно заключить, что белая точка устройства отображения находится вне цветовой гаммы

Таблица 1. Абсолютные и нормированные значения XYZ белой точки и базисных цветов устройства отображения

Цвет	Абсолютные значения XYZ			Цветовые координаты		Яркость
	X	Y	Z	x	y	Y, кд/м ²
Белая точка	45,97	48,00	51,05	0,3170	0,3310	48,00
Базисный красный	20,93	10,47	0,81	0,6500	0,3250	10,47
Базисный зелёный	15,97	33,32	5,78	0,2900	0,6050	33,32
Базисный синий	9,06	4,21	44,46	0,1570	0,0730	4,21

Цвет	Нормированные значения XYZ			Цветовые координаты		Яркость
	X	Y	Z	x	y	Y, кд/м ²
Белая точка	0,9577	1,000	1,0634	0,3170	0,3310	48,00
Базисный красный	0,4361	0,2181	0,0168	0,6500	0,3250	10,47
Базисный зелёный	0,3327	0,6941	0,1205	0,2900	0,6050	33,32
Базисный синий	0,1888	0,0878	0,9262	0,1570	0,0730	4,21

Таблица 2. Абсолютные и нормированные значения XYZ белой точки и базисных цветов эталонного проектора

Цвет	Абсолютные значения XYZ			Цветовые координаты		Яркость
	X	Y	Z	x	y	Y, кд/м ²
Белая точка	42,94	48,00	45,81	0,3140	0,3510	48,00
Базисный красный	21,37	10,06	0,00	0,6800	0,3200	10,06
Базисный зелёный	13,30	34,64	2,26	0,2650	0,6900	34,64
Базисный синий	8,28	3,31	43,59	0,1500	0,0600	3,31

Цвет	Нормированные значения XYZ			Цветовые координаты		Яркость
	X	Y	Z	x	y	Y, кд/м ²
Белая точка	0,8946	1,0000	0,9544	0,3140	0,3510	48,00
Базисный красный	0,4453	0,2096	0,0001	0,6800	0,3200	10,06
Базисный зелёный	0,2770	0,7216	0,0470	0,2650	0,6900	34,64
Базисный синий	0,1724	0,0690	0,9082	0,1500	0,0600	3,31

эталонного проектора, хотя невозможно определить, находятся ли в пределах цветовой гаммы эталонного проектора базисные цвета. Следующие ниже расчёты покажут, что синий базисный цвет и цвета от синего до белой точки устройства отображения лежат вне цветовой гаммы эталонного проектора.

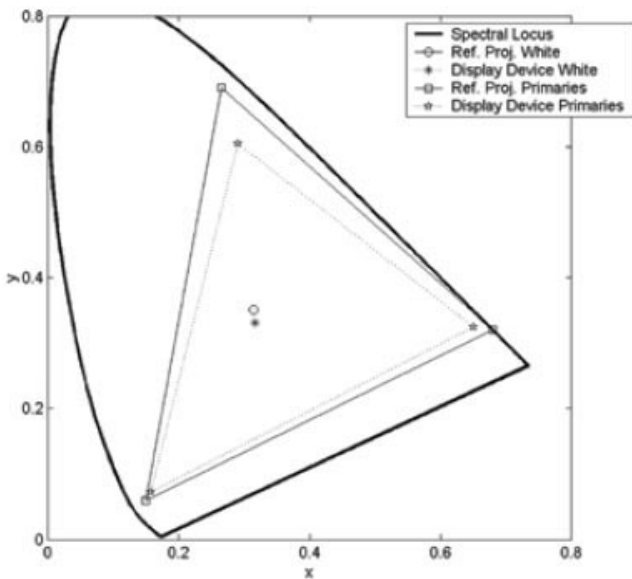


Рисунок 1. Белая точка и базисные цвета устройства отображения и эталонного проектора

В рамке: Спектральный локус
 Белый цвет эталонного проектора
 Белый цвет устройства отображения
 Базисные цвета эталонного проектора
 Базисные цвета устройства отображения

На рисунке 1 показано, что базис устройства отображения целиком находится внутри треугольника, формируемого на диаграмме цветности базисом эталонного проектора.

В пятой статье настоящей серии объясняется, как рассчитывать нормированную матрицу базиса (NPM) аддитивной системы по базису и белой точке. Равенство 1 показывает преобразование линейных значений RGB в линейные XYZ, получаемые на данном устройстве отображения.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4361343357 & 0.3327206339 & 0.1888489579 \\ 0.2180671678 & 0.6941240810 & 0.0878087511 \\ 0.0167743975 & 0.1204678157 & 0.9262018955 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad 1)$$

Основной целью является:

- создать контент в R'G'B' DSM кодированных значениях, который при воспроизведении на описанном выше устройстве отображения даст желаемый результат,
- кодировать этот контент в значения X'Y'Z' DCDM таким образом, чтобы изображение, отображаемое на эталонном проекторе, дало точно такую же колориметрию.

В таблице 3 показаны различные цвета R'G'B', которые пройдут через систему к соответствующим X'Y'Z' кодированным значениям и затем к соответствующим линейным значениям RGB эталонного проектора.

Таблица 3. Кодированные значения R'G'B', определяющие некоторые цвета

Цвет	R'	G'	B'
Белый	1023	1023	1023
Светло-серый	973	973	973
Базисный синий	0	0	1023
Базисный синий 2	0	0	1014
Синий 1	200	200	1023
Синий 2	500	500	1023
Синий 3	800	800	1023
Красноватый	800	200	400
Зеленоватый	150	550	90

Гамма устройства отображения была определена как 2.34; поэтому линейные значения RGB связаны с 10-битными значениями R'G'B' равенством 2:

$$RGB = \left(\frac{R' \ G' \ B'}{1023} \right)^{2.34} \quad 2)$$

* В оригинале имеется описка в показателе степени (2.6 вместо 2.34) – прим. переводчика.

В таблице 4 приведены значения RGB, рассчитанные с использованием значений R'G'B' таблицы 3 и равенства 2.

Таблица 4. Линейные значения RGB, рассчитанные по кодированным значениям R'G'B'

Цвет	R'	G'	B'
Белый	1.0000	1.0000	1.0000
Светло-серый	0.8894	0.8894	0.8894
Базисный синий	0.0000	0.0000	1.0000
Базисный синий 2	0.0000	0.0000	0.9795
Синий 1	0.0219	0.0219	1.0000
Синий 2	0.1873	0.1873	1.0000
Синий 3	0.5625	0.5625	1.0000
Красноватый	0.5525	0.0219	0.1111
Зеленоватый	0.0112	0.2341	0.0034

В таблице 5 приведены координаты цвета XYZ и координаты цветности хуз. Значения XYZ получены из равенства 1 по значениям RGB таблицы 4. Координаты цветности хуз рассчитаны из равенств 3 по значениям XYZ.

Таблица 5. Значения XYZ и хуз, рассчитанные по кодированным значениям RGB

Цвет	X	Y	Z	x	y	z
Белый	0.9577	1.0000	1.0634	0.3170	0.3310	0.3520
Светло-серый	0.8517	0.8894	0.9458	0.3170	0.3310	0.3520
Базисный синий	0.1888	0.0878	0.9262	0.1570	0.0730	0.7700
Базисный синий 2	0.1850	0.0860	0.9072	0.1570	0.0730	0.7700
Синий 1	0.2057	0.1078	0.9292	0.1655	0.0868	0.7477
Синий 2	0.3328	0.2586	0.9519	0.2157	0.1676	0.6168
Синий 3	0.6213	0.6009	1.0034	0.2792	0.2700	0.4508
Красноватый	0.2736	0.1476	0.1150	0.5102	0.2753	0.2144
Зеленоватый	0.0834	0.1652	0.0315	0.2977	0.5898	0.1125

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad 3)$$

$$CV_{X'} = INT \left[4095 * \left(\frac{L * X}{52.37} \right)^{\frac{1}{2.6}} \right] \quad 4)$$

$$CV_{Y'} = INT \left[4095 * \left(\frac{L * Y}{52.37} \right)^{\frac{1}{2.6}} \right] \quad 5)$$

$$CV_{Z'} = INT \left[4095 * \left(\frac{L * Z}{52.37} \right)^{\frac{1}{2.6}} \right] \quad 6)$$

Это значения XYZ на устройстве отображения и значения XYZ, которые желательно получить в кинотеатре при использовании эталонного проектора.

В таблице 6 показаны 12-битные кодированные значения X'Y'Z' DCDM, полученные из значений XYZ таблицы 5 с помощью кодирующих равенств DCDM 4-6. Здесь L равно 48. Получены те значения X'Y'Z', которые будут поданы на эталонный проектор.

Таблица 6. DCDM X'Y'Z' кодированные значения

Цвет	X'	Y'	Z'
Белый	3895	3960	4055
Светло-серый	3723	3785	3876
Базисный синий	2086	1554	3845
Базисный синий 2	2069	1541	3815
Синий 1	2156	1681	3850
Синий 2	2594	2354	3886
Синий 3	3298	3256	3965
Красноватый	2406	1897	1723
Зеленоватый	1523	1981	1048

В таблице 7 приведены координаты цвета XYZ, рассчитанные из значений X'Y'Z' таблицы 6 с помощью декодирующих равенств DCDM 7-9.

Координаты цветности хуз получены из значений XYZ равенствами 3. Это значения XYZ, которые будут вычисляться внутри проектора.

В таблице 8 показаны значения RGB, полученные из значений XYZ и равенства 10. Равенство 10 показывает

Таблица 7. Значения XYZ и x_уz, рассчитанные по кодированным значениям X'Y'Z'

Цвет	X	Y	Z	x	y	z
Белый	0.9579	1.0000	1.0635	0.3170	0.3310	0.3520
Светло-серый	0.8517	0.8891	0.9458	0.3170	0.3309	0.3520
Базисный синий	0.1889	0.0879	0.9262	0.1570	0.0730	0.7700
Базисный синий 2	0.1849	0.0860	0.9075	0.1569	0.0729	0.7701
Синий 1	0.2058	0.1078	0.9293	0.1656	0.0867	0.7477
Синий 2	0.3329	0.2586	0.9521	0.2157	0.1675	0.6168
Синий 3	0.6215	0.6011	1.0033	0.2792	0.2701	0.4507
Красноватый	0.2737	0.1476	0.1149	0.5105	0.2752	0.2143
Зеленоватый	0.0834	0.1652	0.0315	0.2977	0.5897	0.1126

преобразование значений XYZ в значения RGB для эталонного проектора.

Таблица 8. Значения RGB эталонного проектора, соответствующие значениям XYZ таблицы 7

Цвет	R	G	B
Белый	1.1244	0.9521	1.1228
Светло-серый	0.9999	0.8455	0.9984
Базисный синий	0.0177	0.0192	1.0198
Базисный синий 2	0.0170	0.0188	0.9992
Синий 1	0.0421	0.0395	1.0222
Синий 2	0.2249	0.1939	1.0393
Синий 3	0.6403	0.5443	1.0775
Красноватый	0.5453	0.0343	0.1249
Зеленоватый	0.0452	0.2135	0.0237

эталонный проектор создадут на экране такие же цвета, какие были на устройстве отображения. По приведённым расчётам можно сделать несколько интересных наблюдений. Все значения RGB эталонного проектора в таблице 8, большие 1 или меньшие 0, определяют цвета вне цветовой гаммы эталонного проектора. Даже несмотря на то, что базис устройства отображения находится внутри базиса эталонного проектора на диаграмме цветности x_уz (рис. 1), тот факт, что белая точка устройства отображения отличается от белой точки эталонного проектора, означает, что устройство отображения может создавать цвета, выходящие за гамму эталонного проектора. Белая точка была явно вне цветовой гаммы эталонного проектора. Таблицы 3 и 8 показывают, что только нейтральные цвета, определяемые кодированными значениями, меньшими 974 (на 10-битной шкале устройства отображения) находятся внутри цветовой гаммы эталонного проектора. Хотя базисный синий находится внутри треугольника, сформированного базисом эталонного проектора, яркость базисного синего цвета устройства отображения выше яркости базисного синего эталонного проектора.

Значения RGB в таблице 8 показывают, что базисный синий цвет выходит за границы цветовой гаммы эталонного проектора. Только когда значение B' уменьшается до 1014 при нулевых значениях R' и G', цвет попадает в границы цветовой гаммы эталонного проектора. Базисный синий, синий 1, синий 2, синий 3 и белый образуют серию цветов, у которых базисный синий имеет максимальную интенсивность, а базисные красный и зелёный имеют различные уровни интенсивности. Таблица 8 показывает, что все эти цвета находятся вне цветовой гаммы эталонного проектора. Поэтому существует ряд цветов от базисного синего устройства отображения до белой точки этого устройства, которые находятся вне цветовой гаммы эталонного проектора. Это необходимо отметить, чтобы обратить внимание на то, что знание расположения базиса и белой точки устройства отображения не всегда указывает, какие цвета находятся внутри или вне цветовой гаммы эталонного проектора. Заметим, одна-

$$X = \left(\frac{52,37}{L}\right) * \left(\frac{X'}{4095}\right)^{2,6} \quad 7)$$

$$Y = \left(\frac{52,37}{L}\right) * \left(\frac{Y'}{4095}\right)^{2,6} \quad 8)$$

$$Z = \left(\frac{52,37}{L}\right) * \left(\frac{Z'}{4095}\right)^{2,6} \quad 9)$$

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.7253940305 & -1.0180030062 & -0.4401631952 \\ -0.7951680258 & 1.6897320548 & 0.0226471906 \\ 0.0412418914 & -0.0896390192 & 1.1009293786 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad 10)$$

Эти линейные значения RGB внутри эталонного проектора необходимы для получения на экране значений XYZ из таблицы 7.

Приведённые выше таблицы демонстрируют результаты расчётов, необходимых для нахождения кодированных значений X'Y'Z' DCDM, которые при подаче на

ко, что все цвета в этом примере находятся в пределах гаммы X'Y'Z' DCDM кодированных значений, как видно из таблицы 6.

Метод 4. Изображение DSM кодируется как объект XYZ колориметрии

Четвёртый пример того, как кодировать цвета в DSM, состоит в использовании электронной камеры, которая захватывает колориметрию исходной сцены, т.е. цветовые координаты XYZ каждого пикселя изображения. Небольшая модификация этого подхода состоит в использовании для захвата изображения электронной камеры с такими чувствительностями, что простая математическая операция преобразует захваченный сигнал в колориметрию изображения. Аналогично, исходное изображение может быть снято на плёнку, отсканировано и преобразовано в значения XYZ. Во всех случаях этот метод использует цветовое пространство XYZ в качестве цветового пространства DSM. Преобразование XYZ в кодированные значения X'Y'Z' определяется равенствами 4–6. Возможно, потребуется настройка изображений, поскольку они могут выглядеть не вполне приятно при воспроизведении колориметрии исходной сцены на экране. Однако, если известно, как конвертировать XYZ в пространство, в котором осуществляется модификация изображений, обратное преобразование вернёт модифицированные изображения обратно в XYZ. Затем можно использовать равенства 4-6 для получения X'Y'Z'.

Метод 5. Изображение DSM кодируется в копировальных плотностях плёнки

Контент, известный как материал StEM, вначале снимается на плёнку, плёнка сканируется, и кодированные значения копировальной плотности [9] конвертируются в кодированные значения X'Y'Z' при помощи трёхмерных табличных функций (3-D LUT). Модификации цветов контента осуществляются изменением кодированных значений и конвертацией модифицированных значений с помощью 3-D LUT в кодированные значения X'Y'Z'. Этот метод или его модификации широко используются сегодня для производства цифрового контента.

Для примера предположим, что исходная сцена снята на плёнку, плёнка отсканирована, и изображение определено в значениях копировальных плотностей. Таким образом, кодирующее цветовое пространство DSM составляют кодированные значения копировальной плотности. Будем полагать здесь, что целью системы цифрового кинематографа является воспроизведение на экране точно такого же изображения, как плёночное, получаемое из этих кодированных значений. Поэтому для цифрового кодирования изображения пользователь должен выполнить преобразование копировальной плотности в X'Y'Z', моделирующее этот плёночный путь. Для получения плёночного изображения из кодированных значений копировальной плотности необходимо проделать

следующие шаги: (1) Записать фильм на контратипную плёнку при помощи устройства, на которое подаются кодированные значения. (2) Отпечатать этот контратип на позитивную плёнку. (3) Проецировать позитивную копию на кинопроекторе.

Рассмотрим один из методов преобразования копировальных плотностей в X'Y'Z'. Он начинается с кодированных значений. Процесс, описанный шагами с 1 по 3, начинается. Значения XYZ цветных образцов, определяемых кодированными значениями, измеряются с экрана. Затем, используя равенства 4-6, значения XYZ конвертируются в значения X'Y'Z'. С этого момента можно конструировать алгоритм преобразования кодированных значений копировальной плотности в соответствующие кодированные значения X'Y'Z' DCDM. Обычно используются 3-D LUT; однако могут быть использованы другие математические преобразования. Алгоритм, который будет использован для преобразования, зависит, прежде всего, от компромисса между возможностью имеющегося оборудования работать на необходимых скоростях и точностью преобразования.

Для преобразования копировальных плотностей в X'Y'Z' может быть использована другая, слегка отличающаяся модификация описанного процесса. В описанном примере после изготовления позитивной копии она проецировалась на экран, откуда производилось измерение значений XYZ. На практике это измерение произвести сложно; легче измерить плотности Статус А образцов в позитивной копии и определить преобразование из плотностей Статус А в значения X'Y'Z'. Таким образом, преобразование копировальных плотностей в X'Y'Z' представляет последовательность двух преобразований: преобразование копировальных плотностей в Статус А и преобразование из Статус А в X'Y'Z'. Окончательный результат будет таким же.

Существует одна реализационная проблема, о которой следует упомянуть. Предыдущий параграф описывает, как получить X'Y'Z' кодированные значения из кодированных значений копировальной плотности, когда окончательное изображение уже создано. Однако ничего не говорится о том, как модифицируется изображение для достижения желаемого вида. В частности, для эффективности важно цветовое пространство, в котором производятся модификации изображения. Одно цветовое пространство – пространство кодированных значений копировальных плотностей. Оно позволяет зафиксировать преобразование копировальных плотностей в X'Y'Z', и можно делать модификации изображения в копировальных плотностях многие годы. Если кодированные значения преобразованы в цветовое пространство X'Y'Z', модификации изображения могут производиться в пространстве X'Y'Z'. Однако значения X'Y'Z' не соответствуют красному, зелёному и синему направлениям, в которых обычно производится цветокоррекция; поэтому не рекомендуется проводить модификации в пространстве X'Y'Z'.

Какой бы процесс ни был выбран для определения преобразования копияльных плотностей в $X'Y'Z'$, необходимо помнить, что возможны изменения. Устройство записи на плёнку, обработка контратипной плёнки, процесс печати, обработка позитивной плёнки, кинопроектор и процесс измерения, что бы мы ни измеряли, всё подвержено изменениям. Поэтому может понадобиться частое обновление преобразования. Если преобразование должно обновляться часто, процесс должен позволять производить эти обновления с разумными затратами.

Заключение

Эта серия из шести статей фокусировалась только на принятых в настоящее время документах SMPTE, относящихся к цветопроизведению в цифровом кинематографе. Статьи объясняют, как использовать эти документы SMPTE для определения цвета и управления цветами фильма и другого контента для проката в цифровых кинотеатрах. Однако для распространения контента требуется много больше, чем определение цвета. Существует множество стандартов SMPTE, которые разработаны и опубликованы или находятся в стадии разработки. Поскольку данные статьи не связаны с этими документами, читателю понадобится самостоятельно ознакомиться с другими стандартами, если он желает готовить контент для широкого распространения.

В течение приблизительно семи лет, потребовавшихся для достижения консенсуса и публикации документов, относящихся к цвету, параллельно делались попытки создания контента с использованием этих, находящихся ещё в разработке, стандартов. Начавшись с нескольких фильмов, демонстрируемых с нескольких проекторов, система выросла до многих фильмов и тысяч цифровых

проекторов. С ростом опыта проекции и распространения тех первых цифровых фильмов разрабатываемые стандарты обсуждались и модифицировались. Результирующие стандарты предоставляют широкую свободу выбора технологий подготовки контента, демонстрируемого на цифровых проекторах. Однако, поскольку идеи по улучшению процесса в целом продолжают двигаться вперёд, эти стандарты, скорее всего, будут со временем совершенствоваться или изменяться. Поэтому следует пользоваться самыми свежими версиями этих стандартов. Например, Образовательный Комитет SMPTE недавно представил на рассмотрение в Технологический Комитет DC28 доклад [11] по расширению цветовой гаммы системы, для чего рекомендуется определить и принять Минимальную Гамму Белого. Применение предложений этого доклада потребует внести изменения в SMPTE 431-2.

Выражение признательности

Данная статья основана на информации Инженерного Справочника SMPTE 432-1 «Обработка цвета для цифрового кинематографа», редактором которого был автор. Автор благодарит всех, внёсших вклад в создание Инженерного Справочника, за полезные и многочисленные предложения, направленные на его улучшение. Автор благодарит также фирму Eastman Kodak за поддержку данной работы. ■

Примечание редакции

В тексте данной статьи встречаются термины, не имеющие устоявшихся аналогов в русском языке. Предлагаемый перевод таких терминов приводится в Словаре используемых терминов в журнале МТК № 9, 2008 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. SMPTE 432-1. Color Processing for D-Cinema // www.smpte.org.
2. SMPTE 428-1. Digital Cinema Distribution Master (DCDM) – Image Characteristics // www.smpte.org.
3. SMPTE 431-1. D-Cinema Exhibition Screen Luminance Level, Chromaticity and Uniformity // www.smpte.org.
4. SMPTE 431-2. Reference Projector and Environment for Display of DCDM in Review Rooms and Theaters // www.smpte.org.
5. SMPTE 431-3. Projection Image Measurements // www.smpte.org.
6. *Silva J.* «Digital Cinema Image Representation Signal Flow. SMPTE Mot. Imag. J., 115: 137-152, April 2006.
7. *Kennel G.* Color and Mastering for Digital Cinema, Focal Press: New York, NY, 2007.
8. SMPTE RP 180-1999. Spectral Conditions Defining Printing Density in Motion-Picture Negative and Intermediate Films», www.smpte.org.
9. Rec. ITU-R BT. 709-5. Parameter Values for the HDTV Standards for Production and International Programme Exchange.
10. *Maier T.* Color Processing for Digital Cinema 4: Measurements and Tolerances. SMPTE Mot. Imag. J., 116:510-517, Nov./Dec.2007.
11. SMPTE Digital Cinema White Gamut Practices Study Group Report, DS2888.10, Version 0.41, September 26, 2007 // www.smpte.org.