



№2 СОДЕРЖАНИЕ

Новости, обзоры

Выставки и форумы «осень 2006» 2

А. Мелкумов
Презентация отечественных технологий на
Международной конференции «GSCA-GALVTSTON 2006» 5

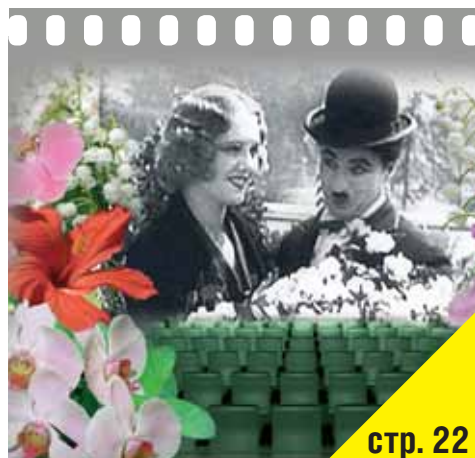


Вопросы теории

В.Г. Комар
Сравнение цифровых и киноплочных систем кинематографа 7

Вопросы сертификации и права

Н.С. Ковалевская
Обеспечение качества — стратегия развития киноотрасли 13



Технологии

Г.Г. Голенко
Моноракурсный стереопсис как ощущение объема при наблюдении
плоских изображений 14

А. Городников
Сенсорная эволюция в кинематографе 22

Проекты

Н. Бернштейн (США)
Горизонтальный киноэкран
(размышления о расширении применения кинематографа) 26

Мастер-класс, семинары: новости SMPTE, отзывы

А.С. Блохин
перевод статьи из SMPTE — Преобразователи свет-сигнал
больших размеров для съемочных камер цифрового кинематографа 29



Страницы истории кино

А. Стрельникова
О съемке обратной стороны Луны
с помощью межпланетной космической станции Луна-3 36

Научно-технический журнал «Мир Техники Кино»
Выходит 4 раза в год

Издатель: ООО «ИПП «КУНА»
Учредители: «ОАО НИКФИ», ООО «КИНОТЕХ К^о»
ООО «ИПП «КУНА»

Редакционный Совет:
Комар Виктор Владимирович проф. д.т.н.
Василевский Юрий Антонович проф. д.т.н.
Тимофеев Александр Евгеньевич к.т.н.
Блохин Александр Сергеевич к.т.н.
Ковалевская Нонна Сергеевна к.т.н.
Рожов Сергей Николаевич

Руководитель проекта:
Костылев Олег Юрьевич
Главный редактор:
Егоров Владимир Викторович
Выпускающий редактор:
Захарова Тамара Владимировна
Арт-директор, оформление обложки:
Шишкин Владимир Геннадьевич
Художественный редактор:
Тогобицкий Валерий Александрович
Верстка:
Прокофьева Екатерина Анатольевна,
Владимиров Алексей Геннадьевич
Корректор: Солодкова Ирина Федоровна

Отпечатано в ООО «Типография ПАРАДИЗ»
Объем 5 п.л. Заказ № 702
Тираж 999 экземпляров.
Перепечатка материалов осуществляется только с
разрешения редакции, ссылка на журнал
обязательна.
Редакция не несет ответственности за достовер-
ность сведений в рекламе и объявлениях.
Мнение редакции не всегда совпадает со взглядами
авторов статей.
kevin@paradiz.ru
www.paradiz.ru
телефон (факс): +7 (495) 795-0299; 795-0297



ВЫСТАВКИ И ФОРУМЫ

«ОСЕНЬ 2006»



н С 5 по 8 сентября 2006 года в выставочном центре «ЛЕНЭКСПО» в Санкт-Петербурге прошли Международный Форум и очередная VIII выставка «Кино ЭКСПО-2006», в которых приняли участие 70 фирм производителей и дистрибьюторов технических средств для кинотеатров, кинотеатральной мебели и оборудования для оснащения фойе кинотеатров.

Организаторами Форума и выставки особый акцент был сделан на внедрении цифровой проекции. Этому была посвящена программа докладов: по технологиям D-cinema и Digital 3D, а так же о цифровых DLP проекторах PANASONIC, как о новых возможностях для кинотеатров. Доклады делали компании: «Кино Проект Инжиниринг», Time Line Media, Panasonic, «Невафильм DIGITAL». В развитие этой темы на стендах дистрибьюторов были выставлены проекторы для цифровой проекции фирмы CHRISTIE тип CP2000-X.

Обширную экспозицию кинопроекторов представила компания «Кинотон» (Германия). Компанией предоставлена информация о начале выпуска цифровых кинопроекторов консольного варианта DCP-70 и двублочного облегченного DCP-30. Презентация этих проекторов состоялась в июне в Амстердаме. В кинопроекторах серии DCP используется система DLP CINEMA, которая запатентована фирмой BARCO. В основу этой идеи были положены разработки концерна Texas Instruments, которые впервые были продемонстрированы на выставке «Фото-Кино» в 1998 году

в г. Кельне. Цифровые кинопроекторы фирмы КИНОТОН обеспечивают разрешение 2048x1080 (2K), уровень коэффициента контрастности более 2000:1.

Небольшая экспозиция была представлена фирмой CINEMECANICA, кинопроекторы которой VICTORIA используются во многих кинозалах России. Как следует из информационных материалов, данная компания также приступила к выпуску цифровых кинопроекторов с использованием той же системы DLP CINEMA.

Кинопроекторы CHRISTIE были представлены на стендах дистрибьюторов фирмы «Кино Проект Инжиниринг» и CHRISMAPT-FILM. В цифровом кинопроекторе CHRISTIE типа CP2000 обеспечивается световой поток от 8000 до 25000 ANSTR мм и используется система трех матриц – DLP CINEMA. Вместе с тем фирма продолжает совершенствовать и пленочные кинопроекторы. Так в кинопроекторе P35GPSL исключены зубчатые передачи, мальтийский механизм не требует смазки, а в звуковой части установлен необслуживаемый герметичный блок ULTRAMITTENT.

Второй год на выставке представлена испанская компания PROXECSON, производящая широкий ассортимент оборудования для кинотеатров. Кинопроекторы компании PH-35 достаточно просты в эксплуатации, имеют бобины до 5000 метров, натяжение пленки контролируется микропроцессором. Кинопроекторы имеют модульную конструкцию. Головка, фонарь и универсальный звуковой ридерс могут быть скомпонованы с другими марками кинопроекторов. Модульное решение



Цифровой проектор CRISTIE



Универсальный звуковой блок (фирма PROXECSON)

кинопроекторов было также представлено и фирмой ERNEMANN. Каждый отдельный модуль может быть интегрирован и с другими модулями кинопроекторов.

Новыми участниками выставки стали китайские фирмы HARBIN FILM MACHINERY PLANT – производство кинопроекторов и NANJING AMBER AUDIO ELECTRONICS Co LTD – производство акустических систем и усилителей мощности. Большая часть продукции последней компании прошли сертификацию THX.

Дистрибьюторы средств кинотехники: НЕВАФИЛЬМ, AST trade, MS MAX, ASIA MUSIC, Кино Проект Инжиниринг, АСК групп представили весь комплекс импортного оборудования для кинотеатров.

зано правильным. Скорее всего организаторам выставки «Кино ЭКСПО-2006» следует расширить число экспонентов за счет привлечения компаний производящих или торгующих средствами съемочной, осветительной, звуковой техники для производства кинофильмов, оборудования для лабораторий и организаций кинопроката с широким проведением мастер-классов и лекций по использованию и обслуживанию оборудования.

С 16 по 18 сентября 2006 года в Мюнхене прошла очередная выставка кинооборудования «CINEK 2006». Эта выставка в свое время была организована по инициативе баварских производителей, в частности ARRI и PANTER, в противовес выставки «Фотокино», проводимой в Кель-



Модульный кинопроектор (фирма PROXECSON)



Минивертолет для съемок (МКБК)



Бокс для передвижных подводных съемок (МКБК)

Среди поставщиков средств кинотехники отдельно следует отметить компанию «Кинотех Ко», которая наряду с поставкой импортного оборудования обеспечивает поставку широкого ассортимента запасных частей (отражателей, ксеноновых ламп, отдельных блоков) и изделий для кинотеатров, оснащенных отечественной аппаратурой.

Московское конструкторское бюро киноаппаратуры представило ряд новых разработок для использования при киносъемках: минивертолет для съемок в чрезвычайных ситуациях (при пожарах, землетрясениях и др.) и бокс для подводных киносъемок.

На выставке особый упор был сделан на сервисное обслуживание кинопоказа: широко представлены кресла для кинозалов, оборудование для быстрого питания.

К недостаткам выставки следует отнести то, что ранее запланированное открытие «Кино ЭКСПО-2006» было перенесено на утро следующего дня. Это негативно восприняли в первую очередь иностранные участники выставки, так как оплата стендов была взята за 4 дня, а реально выставка работала 3 дня. Вместе с тем, экспоненты выражали удивление малым количеством посетителей. В первую очередь это было связано с выделением Кинорынка как бы в изолированную по площади структуру, когда прокатчики в силу ряда причин не дождалась экспонентов техники, а те не увидели прокатчиков. Следует также отметить, что соединение Кинорынка и выставки техники вряд ли может быть при-

не. В этой выставке приняли участие около 140 фирм производителей киносъемочных камер, операторской и осветительной техники, звукозаписывающего оборудования, съемочной оптики и разнообразных аксессуаров для фильмопроизводства. Большинство экспонентов – это немецкие фирмы. В выставке приняли участие и Российские компании: JSC Optik-Elite (Санкт-Петербург), Cinema Production Service Exhibition (организатор ежегодной Московской выставки «Cinema Production Service»).

26-28 сентября в Москве в Бизнес-центре «Измайлово-Альфа» состоялся 3-й Международный форум «Голография Экспо-2006».

В последние годы много внимания уделяется активному внедрению голографических технологий и методов в самые различные отрасли науки и техники, коммерческое использование голограмм. В связи с этим весьма актуальным становится потребность в современной оценке состояния отечественного и зарубежного рынков голографической продукции и определения направлений его развития. Главным событием форума явилось проведение научно-практической конференции «Голография в России и за рубежом. Наука и практика». Одновременно с конференцией проходила выставка «Голография Экспо-2006». Прошедший форум состоялся как событие, органично сочетающее в себе демонстрацию производственного потенциала, и обсуждение инженерных и научных идей, и анализ инвестиционных перспектив в области прикладной голографии.

С 26 сентября по 1 октября в г. Кельне прошла очередная выставка «Фотокино». Это одна из крупнейших выставок, касающихся вопросов изображения. Экспозиция выставки: фотографическая техника, лаборатории печати, видеопроекционное и мультимедийное оборудование, оптика, фотоматериалы и многое другое. Все это располагалось в 14 павильонах. В выставке приняло участие более 3500 фирм из 45 стран мира.

при создании кинофильмов для российских зрителей и создании производственных баз. Руководитель компании «XX ВЕК ФОКС» СНГ М. Шлихт в режиме «реплика» высказал мысль о недопустимости ксенофобии в отношении зарубежных фирм.

С докладом «Прогнозирование развития киноотрасли, анализ, инициативы, различные сценарии» выступил О. Иванов – Президент аудиторско-консалтинговой груп-



На конференц-форуме «Развитие киноотрасли. Стратегические инициативы»

С 28 сентября по 1 октября в Москве в павильонах «Крокус Сити» прошла 2-я Международная выставка МУЗЫКА ТЕАТР КИНО (оборудование, технология, инсталляция).

Отдельно следует сказать о проведенном в Москве 25 октября конференц-форуме «Развитие киноотрасли. Стратегические инициативы», организованном Федеральным агентством по культуре и кинематографии, компанией Movie Research, Российским агентством «Информкино» при информационной поддержке журнала «Менеджер кино». С докладом «Развитие Государственного регулирования киноотрасли в контексте реформирования бюджетных процессов и системы государственной службы» выступил заместитель Руководителя Федерального агентства по культуре и кинематографии Александр Голутва. Он отметил увеличение производства игровых кинофильмов в 2006 году в 2 раза, одновременно посетовав на неконкурентоспособность большинства Российских фильмов на международном рынке. Докладчик отметил недостаточное финансирование отрасли и высказал идею организовать независимый общественный орган, который мог бы лоббировать интересы кинематографии, так как деятельность Союза кинематографистов в настоящее время в этом вопросе весьма противоречива. В докладе говорилось о необходимости создания кинозалов с цифровой демонстрацией кинофильмов, о целесообразности расширения системы подготовки кадров и проведения научно-исследовательских работ. Также было обращено внимание на некоторую экспансию зарубежных фирм

пы «Универсал», руководитель проекта Movie Research. В нем были выделены следующие стратегические инициативы по развитию киноотрасли:

- создание саморегулирующих организаций,
- решение проблем реализации прав на объекты интеллектуальной деятельности,
- внедрение цифрового показа,
- создание цифровых фондов,
- формирование фондов финансирования киноотрасли,
- расширение образовательных программ,
- проведение независимых исследований.

Одним из важных моментов форума было сообщение заместителя директора ОАО НИКФИ Ковалевской Нонны Сергеевны, которая отметила: «Важной задачей киноотрасли на сегодня является формирование условий

создания конкурентноспособной продукции на отечественном и мировом рынках. Одним из таких условий должно стать обеспечение качества, гарантией которого является создание системы управления качеством отрасли, охватывающая все факторы негативного влияния на технологические процессы киноиндустрии. Реализация таких проектов требует государственных вложений в рамках участия ведомственных программ».

Редакция журнала «Мир Техники Кино» готова обсудить на своих страницах вопросы, поднятые в выступлениях участников конференц-форума, и предлагает всем заинтересованным лицам присылать свои комментарии. [n](#)





Презентация российских технологий НА МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «GSCA-GALVTSTON 2006»



А. Мелкумов
лаборатория стереокинематографии ОАО «НИКФИ»

Последние три года ОАО «НИКФИ» совместно с НТЦ «СТЕРЕОКИНО» активно вели работы по разработке стратегии выхода на рынок кинематографии «Гигантского Экрана» через тактику внедрения отечественных кинотехнологий.

Первые контакты с фильмопроизводителями этого вида кинематографа начались в 2004 году. Руководство лаборатории обработки фильмоматериалов нестандартной величины – «Гулливёр», где велась обработка 65 мм негатива отечественных стереофильмов «Цветок Пелопоннеса» и «Московские этюды», обратила внимание на необычный материал, поступающий из Москвы. Эксперт лаборатории по 3D Andrew Oran, являясь вице-президентом «EuroMax» – европейской ассоциации кинематографистов формата «Гигантский Экран», прислал российской стороне приглашение на участие в статусе гостя в 9-й конференции EuroMax, проходившей в Берлине. Подробный отчет об этой конференции изложен в сборнике научных трудов НИКФИ за 2005 год.

На одном из пленарных заседаний конференции нашей стороной впервые была озвучена идея использования легких и компактных стереокамер отечественной системы «Стерео-70» в качестве альтернативных тяжелым стереокамерам корпорации IMAX, для творческого и экономического прорыва в производстве игровых и видовых стереофильмов для экранов гигантских размеров. Впервые официально эта идея была задокументирована в 2004 году международным журналом «LF Examiner» – обозревателем киноиндустрии «Гигантский Экран». Тут же на конференции были налажены контакты с представителями компаний «Big Film» (Канада) и DKP 70MM Inc. (США), подхватившими эту идею. Уже в течение 2005 года

при поддержке этих компаний были проведены первые тестирования изложенной идеи. Подробно эта тема изложена в статье «Российская технология для гигантского экрана» в том же сборнике трудов НИКФИ.

Продолжая поиски новых направлений в реализации собственных возможностей производства отечественных фильмов для гигантского экрана, были начаты исследования и разработка технологии по стереосъемкам кукольных анимационных фильмов в цифровом формате с последующей лазерной записью в формате 1570 (горизонтальный кадр в 15 перфораций на 70 мм пленке). Уже в декабре 2005 года впервые в мире была получена цифровая запись экспериментального кукольного стереофильма длительностью 1 минута. Съёмки велись на базе Таллиннской студии кукольных фильмов «NUKUFILM», с которой НИКФИ имеет более 25-летний опыт сотрудничества в производстве кукольных стереофильмов в системе «Стерео-70». Уже в феврале 2005 года стереофильм демонстрировался на фестивале анимационных фильмов в г. Суздале, а в апреле 2006 года на студии «FotoKem» (г. Лос Анжелес) была проведена лазерная запись цифровой информации на кино негатив в формате 2x1570.

В мае 2006 года институт получает приглашение вступить в Международную ассоциацию кинематографистов гигантского экрана (Giant Screen Cinema Association – GSCA) и принять участие в качестве полноправного члена в конференции Ассоциации в г. Галвестоне (штат Техас, США). В ответ НИКФИ посылает на предварительную экспертизу два сообщения, которые предлагает сделать на Технической сессии. Из пяти технических сообщений, озвученных на Конференции, – два было от НИКФИ.

Надо отметить, что эти сообщения ждали с нетерпением и любопытством. Многие были удивлены российскому присутствию на данной конференции. Сравнительно многочисленные японская и корейская делегации со своими переводчиками смотрелись ближе и понятливее американцам и европейцам, нежели единственный участник из «очень далекой» России.

В мировое кинематографическое сообщество пришло новое поколение, которым далеко не ведомы успехи и опыт советской кинотехнической школы и международный авторитет НИКФИ в области стереокино.

Были сделаны презентации по двум вышеописанным темам:

1. «Использование легких и компактных российских стереокамер для производства стереофильмов для гигантского экрана».

2. «Стереосъемка кукольной анимации одним цифровым фотоаппаратом».

Презентация по первой теме предварялась показом отечественной камеры на стенде партнера – компании «Big Film». Параллельно с презентацией были проведены дополнительные тестовые съемки и результаты переданы в лабораторию «FotoKem».

Презентация второй темы сопровождалась показом экспериментального ролика на гигантском экране размером 22х30 метров.

Интерес к первому сообщению был прогнозируемым, поскольку предварительно велась активная переписка с кинематографистами, которые впоследствии руками могли пощупать идею – саму камеру. Отношение ко второй презентации можно объяснить только одним словом – восхищение. Участников восхитили и результаты



и простота воплощения идеи стереосъемки цифровым фотоаппаратом.

Успех участия института необходимо закрепить на следующей (сентябрь 2007 года) Конференции, которая будет проходить в Ванкувере (Канада) на родине, где зародился данный вид кинематографа. НИКФИ имеет давние отношения с Национальным советом по кинематографии Канады и самое благосклонное внимание еще оставшихся в живых ее ветеранов, таких как Colin Low – создатель системы IMAX-3D, Furegenson – один из первых президентов корпорации IMAX, которые помнят помощь, оказанную НИКФИ, в их первых шагах в стереокино.

Предполагается уже к следующей конференции прийти с высококачественным материалом для демонстрации на гигантском экране изображения, конвертированного с негатива, отснятого камерами «Стерео-70» как в воздухе, так и под водой. Для этого необходимо провести работы по тщательнейшей юстировке стереооптики и подготовке бокса для подводных стереосъемок. Необходимо выделение средств на приобретение 65 мм киноплёнки, ее обработки в зарубежной лаборатории, сканированию и лазерному выводу на формат 1570.

На волне успеха показа экспериментального ролика кукольной анимации необходимо привезти на Конференцию коммерческий продукт, пусть и короткометражный, кукольного фильма, который там же на конференции будет продан.

Конференция еще и симбиоз кинофестиваля с ярмаркой по покупке фильмов для гигантского экрана. [n](#)





СРАВНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ И КИНОПЛЕНОЧНЫХ СИСТЕМ КИНЕМАТОГРАФА

В.Г. Комар
доктор технических наук
профессор

В настоящее время в производстве кинофильмов и их демонстрации в кинотеатрах применяются главным образом системы кинематографа, основанные на использовании 35-мм киноплёнки. Возможно такие киноплёночные системы будут широко применяться в мире еще не одно десятилетие. Однако созданные в наступившем столетии цифровые камеры и проекторы позволили снять и спроецировать на экраны кинокартины с изображением, превосходящим по основным показателям качество изображения кинофильмов в обычных киноплёночных системах. Темпы технологического прогресса дают основание ожидать, что цифровые системы кинематографа в ближайшем будущем еще в большей мере будут превосходить киноплёночные системы в отношении качества изображения, а также по экономическим показателям и поэтому получат в будущем самое широкое применение.

Разрешение

Важнейшим показателем качества изображения в кинематографических системах является разрешение, которое определяет: резкость изображения, воспроизведение малых деталей и угол, в котором зритель смотрит на экран.

Разрешение киноплёночных систем кинематографа и ее последовательных звеньев принято оценивать функцией передачи модуляции (ФПМ). Эта функция пространственной частоты называется также частотно-контрастной характеристикой. На рис. 1 изображены ФПМ: киноплёнки (1), оптики (2) и механизма камеры и проектора.

ФПМ в основной части малых и средних частот может быть приближенно выражена формулой (1) [1].

$$F = \exp [-(p/p_c)^2], \quad (1)$$

где F – ФПМ; p – пространственная частота (обратная величина шага изображения в виде синусоидальной решетки), мм^{-1} ; p_c – критическая пространственная частота – значение p , при котором функции передачи модуляции равна

$$F = 0,368 = 1/e.$$

В электронном цифровом кинематографе разрешение наиболее важных звеньев системы: светочувствительной матрицы видеокамеры и матрицы модулятора света видеопроектора, как известно, измеряется в пикселах, т.е. количеством светочувствительных и модулирующих элементов этих матриц. Однако разрешение основных

звеньев цифрового кинематографа можно также выразить в виде ФПМ. Критическая пространственная частота указанных звеньев определяется следующей формулой [2].

$$p_c = 0,524 Nd/Bd, \quad (2)$$

где Nd – число элементов светочувствительной матрицы видеокамеры или модулятора света видеопроектора по ширине, Bd – ширина матрицы, мм .

Важно отметить, что ФПМ указанных звеньев кинематографа достаточно точно выражается формулой (1) только для области малых и средних пространственных частот. Для области высоких значений пространственных частот функция передачи модуляции мала (менее 15%), что необходимо учитывать в расчетах.

Для сравнения электронных систем с киноплёночными разрешение последних можно также выражать в пикселах. При этом согласно формуле (2) разрешение звена киноплёночной системы N_i может быть подсчитано в пикселах по формуле [2].

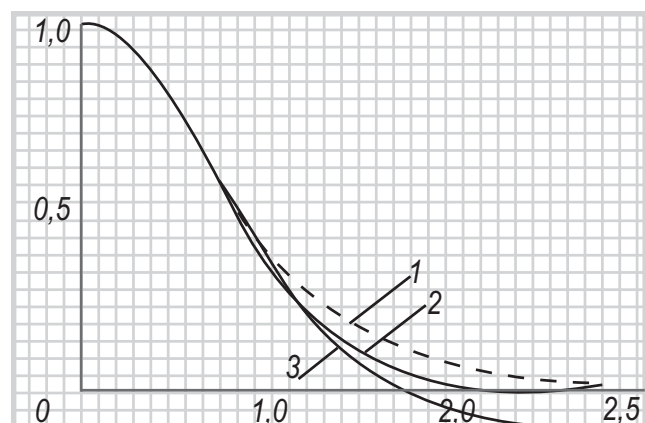


Рис. 1. Функции передачи модуляции сигналов изображения – ФПМ: 1 – киноплёнка; 2 – оптика, $F = \exp [-(p/p_c)^2]$; 3 – цифровое преобразование (светочувствительная матрица, модулятор света).

$$N_f = 1,91 p_e B_f, \quad (3)$$

где B_f – ширина поля изображения (кадра) данного звена.

В таблице 1 приведены типичные значения критических пространственных частот и разрешения различных звеньев киноплёночных и цифровых электронных систем. Следует отметить, что для разных типов оборудования и материалов, технологических процессов производства, а также в зависимости от условий эксплуатации в различных конкретных случаях могут иметь место существенные отклонения от значений, приведенных в таблице.

Тем не менее расчеты разрешения кинематографических систем по принятым параметрам позволяют сделать ряд важных выводов при сравнении разных систем.

Как видно из таблицы 1, разрешение 35-мм негативной киноплёнки (4096 пикселей) превосходит разрешение светочувствительной матрицы цифровой видеокамеры (1920 пикселей) и равно разрешению светочувствительной матрицы цифровой видеокамеры 4К (4096 пикселей).

Разрешение всего кинематографического процесса, включающего все его последовательные звенья от съёмочной камеры до зрителя, оказывается значительно ниже его отдельных звеньев. ФПМ кинематографической системы в целом F_Σ равна произведению функций передачи модуляции всех последовательных звеньев ($F_1 F_2 F_3 \dots$):

$$F_\Sigma = F_1 F_2 F_3 \dots \quad (4)$$

Из уравнений (1) и (4) следует, что ФПМ системы в целом может быть выражена также формулой (1). При этом критическая пространственная частота процесса в целом F_S определяется следующим уравнением:

$$1/(p_\Sigma B_\Sigma)^2 = 1/(p_1 B_1)^2 + 1/(p_2 B_2)^2 + \dots + 1/(p_n B_n)^2, \quad (5)$$

где p_1, p_2, \dots, p_n – значения критической пространственной частоты для последовательных звеньев киноплёночного процесса; B_1, B_2, B_n – ширина кадра для последовательных звеньев; B_Σ – ширина кадра, соответствующая результирующей критической пространственной частоте p_Σ .

Уравнениями (1) и (5) определяется следующее важное соотношение, позволяющее рассчитать разрешение кинематографической системы в целом N_Σ , если известны значения разрешения ее последовательных звеньев: N_1, N_2, \dots, N_n .

$$N_\Sigma^{-2} = N_1^{-2} + N_2^{-2} + N_3^{-2} + \dots + N_n^{-2} \quad (6)$$

В таблице 2 приведены разрешения различных киноплёночных, цифровых электронных и гибридных систем кинематографа. В гибридных системах отдельные последовательные звенья являются киноплёночными, а другие электронными. При расчете были приняты

параметры киноплёнок и киноаппаратуры, соответствующие лучшим типам.

Из данных таблицы 2 можно сделать следующие выводы:

1. Системы кинематографа: киноплёночные, цифровые электронные и гибридные, в которых используется 35-мм киноплёнка, обеспечивают практически такое же разрешение, как и системы с использованием светочувствительных матриц и матриц модуляторов света с разрешением 2К.
2. Для того чтобы системы цифрового кинематографа не уступали по качеству изображения 35-мм киноплёночным системам, необходимо иметь разрешение матриц камер и проекторов не ниже 2К, что соответствует предложению 7 ведущих киностудий США и Японии, рекомендующих для театрального кинематографа цифровые системы 2К и 4К [3].
3. Система Аймакс, основанная на применении 70-мм киноплёнки с 15 перфорационным шагом кадра, существенно превосходит по разрешению применяемые системы как 35-мм киноплёночного, так и цифрового кинематографа 2К.

Таблица 1. Разрешение звеньев киноплёночных, цифровых электронных и гибридных систем кинематографа

Критическая пространственная частота, мм ⁻¹	Разрешение по горизонтали, пиксели
Киноплёночные системы	
Цветная негативная киноплёнка 100	4000 (35-мм, кадр 20,7 мм)
Kodak Vision 250D, 5246 (зеленый слой)	9300 (70-мм, кадр 48,6 мм)
	13300 (70-мм, кадр 69,6 мм)
Цветная позитивная киноплёнка 200	8000 (35-мм, кадр 20,7 мм)
Kodak Vision 2393 (зеленый слой)	18600 (70-мм, кадр 48,6 мм)
	26600 (70-мм, кадр 69,6 мм)
Объективы съёмочные 80	7400 (70-мм, кадр 48,6 мм)
	10600 (70 мм, кадр 69,6 мм)
Механизм лентопротяжный 80 обычного кинопроектора	3200 (35-мм, кадр 20,7 мм)
	5600 (70-мм, кадр 48,6 мм)
Механизм лентопротяжный 200 киносъёмочного аппарата	7500 (35-мм, кадр 20,7 мм)
	17800 (70-мм, кадр 48,6 мм)
Электронные цифровые системы	
ПЗС матрица видеокамеры стандарта ТВЧ	1920
Матрица модулятора света видеопроектора стандарта ТВЧ	1920
Матрица видеокамеры 4К	4096
Матрица модулятора проектора 4К	4096
Объектив камеры проектора 2К 80	2500 (ширина кадра 16,6 мм)
Объектив камеры проектора 4К 80	4400 (ширина кадра 28,8 мм)

Таблица 2. Разрешение систем кинематографа: киноплёночных, цифровых электронных и гибридных

Название системы	Разрешение системы по ширине кадра	
	в пикселах	по критерию критической пространственной частоты
Киноплёночные системы		
35-мм система, ширина кадра 20,7 мм	1320	690
70-мм система, ширина кадра 48,6 мм	3460	1810
70-мм система Аймакс, ширина кадра 69,6 мм	7930	4150
Цифровые электронные системы		
Система 2К, стандарт ТВЧ	1300	680
Система 4К, экспериментальная	3110	1630
Гибридные системы		
Цифровая съёмка в стандарте ТВЧ, 35-мм плёночная проекция	1220	640
Съёмка на 35-мм киноплёнку, проекция цифровая в стандарте ТВЧ с помощью видеодисков	1200	630

Косвенным подтверждением приемлемой точности изложенного выше метода расчета явились результаты проведенных экспертами СМПТИ измерений контрольных фильмовых роликов, изготовленных на киностудиях США и Франции по обычной технологии изготовления 35-мм кинофильмов при проек-

Таблица 3. Визуальная оценка качества изображения при различных значениях критериев качества изображения

Нормированный критерий качества изображения	Визуальная оценка качества изображения	Угловой размер шага пикселей (угл. мин.)
0 – 0,125	Отлично	0 – 2
0,125 – 0,173	Почти отлично	2 – 2,75
0,173 – 0,25	Хорошо	2,75 – 4
0,25 – 0,35	Почти хорошо	4 – 5,5
0,35 – 0,5	Удовлетворительно	5,5 – 8
0,5 – 0,7	Почти удовлетворительно	8 – 11
0,7 – 1,0	Посредственно	11 – 16
1,0 и более	Недопустимо	> 16

ции их в шести кинотеатрах США, Канады, Франции и Италии.

Разрешение сквозного киноплёночного процесса от съёмки до экрана оказалось в среднем равным 1410 пикселей с расхождением $\pm 10\%$ (1270 – 1550 пикселей). Расчетное значение разрешения согласно таблице 2 равно 1320 пикселей [4].

Резкость изображения

Количественный критерий резкости изображения кинематографической системы может быть подсчитан по эмпирической формуле [5].

$$\eta_R = 410 N_E / N_\Sigma L_E;$$

$$N_\Sigma = 1,91 p_\Sigma B_f,$$

Где η_R – критерий резкости изображения; p_Σ – критическая пространственная частота всего кинематографического процесса (мм⁻¹) от съёмки до проекции, приведенная к ширине кадра B_f ; L_E – расстояние между экраном и зрителем, м.

Нормирующий коэффициент 410 в формуле (7) означает, что значения критерия качества изображения соответствует визуальным оценкам согласно таблице 3.

Формула (7) получена из условия, что критерий резкости η_R обратно пропорционален площади, заключенной между осями координат и ФПМ. При расчетах критерия резкости изображения значения отношения ширины экрана к расстоянию между зрителем и экраном принимались равными согласно таблице 5.

Для рассмотренных выше систем кинематографа по формулам (7) и таблицам 2 и 5 были получены значения критерия резкости изображения, приведенные в таблице 1.

В этой таблице указаны значения критерия резкости и соответствующие им визуальные оценки качества изображения. Данным значениям критерия резкости изображения соответствуют указанные в той же таблице значения углов, в которых зритель рассматривает расстояние между соседними пикселями.

Таблица 4. Угловые размеры экрана различных систем кинематографа

Система кинематографа		Отношение ширины экрана к расстоянию между экраном и зрителем BE/LZ		
		Первый ряд	Средний ряд	Последний ряд
Классический формат 35 мм	1,37:1	0,656	0,356	0,246
	1,85:1	0,795	0,431	0,298
Кашетированный кадр 35 мм	1,66:1	0,886	0,481	0,332
	2,35:1	1,113	0,611	0,422
Широкий экран 35 мм	2,2:1	1,5	0,8	0,6
Широкий формат 70 мм	1,44:1	2,2	1,25	1

Таблица 5. Критерии резкости изображения для различных систем кинематографа

Название системы кинематографа		Критерий резкости изображения	
Формат, ширина пленки/ шаг кадра в числе шагов перфораций	Соотношение сторон кадра	Первый ряд	Средний ряд Визуальная оценка
35-мм киноплёночные системы			
Кашетированный, 35/4	1,85:1	0,275	0,149 почти отлично
	1,66:1	0,247	0,134 почти отлично
Классический, 35/4	1,37:1	0,204	0,111 отлично
Широкоэкранный, 35/4	2,35:1	0,351	0,190 хорошо
Максивижн, 35.3		0,233	0,126 почти отлично
Унивижн, 35/3		0,246	0,133 почти отлично
Мультивижн, 35/2		0,246	0,133 почти отлично
70-мм киноплёночные системы			
Широкоформатный, 70/ 5,	2,2:1	0,173	0,095 отлично
Аймакс, 70/15	1,44:1	0,114	0,065 отлично
Айверкс, 70/8,	1,37:1	0,104	0,053 отлично
Поликадровый, 70/10	1,04:1	0,132	0,071 отлично
Стерео-70, 70/4	1,34:1	0,228	0,122 отлично
Цифровые электронные системы			
Цифровая электронная система. 2К		0,369	0,146 почти отлично
Гибридная 2К – съёмка, 35-мм плёнка – проекция		0,280 0,152 почти отлично	
Гибридная 35-мм плёнка – съёмка, 2К – проекция		0,284	0 152 почти отлично
Цифровая электронная 4 К		0,194	0,061 отлично

Из таблицы 5 следует:

- 1) 35-мм системы плёночного кинематографа имеют практически такую же резкость изображения, как и цифровые электронные и гибридные системы с разрешением 2К.
- 2) Системы цифрового кинематографа с разрешением 4К имеют отличную резкость изображения, примерно такую же, как системы широкоформатного кинематографа, использующие 70-мм киноплёнку.

Дальнейшее повышение резкости изображения за счет повышения разрешения системы может потерять смысл, так как зритель не сможет воспринимать такое изображение более резким из-за ограниченной ФПМ его зрительного анализатора. Но нужно иметь в виду, что с увеличением яркости изображения сверх действующих в настоящее время норм возрастает разрешение зрительного анализатора. Повышение разрешения системы позволяет увеличивать угловые размеры экрана (B_E / L_z), что расширяет изобразительные возможности и позволяет создать более комфортные условия для зрителей.

Передача малых деталей изображения

В отношении передачи малых деталей изображения 35-мм киноплёночные системы кинематографа имеют преимущества перед системами цифрового кинематографа 2К, обусловленные тем, что в последних функция передачи

модуляции снижается до нуля при значении пространственной частоты системы, равной частоте чередования пикселей светочувствительной матрицы и матрицы модулятора света. При таких же значениях пространственной частоты ФПМ киноплёночной системы не снижается до нуля (кривые 1 и 3 на рис.1).

В примере, приведенном выше (таблица 5), цифровая система кинематографа 2К в целом имеет разрешение 1300 пикселей при разрешении ПЗС матрицы, равном 1920 пикселей (67,7 %). В 35-мм киноплёночной системе при пространственной частоте, соответствующей 1920 пикселям, т.е. в 1,45 раза выше критической пространственной частоты ($1920 / 1320 = 1,45$), значение ФПМ согласно формуле (1) равняется $F = 0,12$.

Это означает, что в киноплёночной системе такие малые детали изображения будут воспроизводиться (хотя и с пониженным контрастом), в отличие от цифровых систем, где воспроизведение их будет полностью отсутствовать.

35-мм киноплёночные системы, по сравнению, цифровыми системами 2К, имеющими ту же резкость изображения, имеют преимущество лучшей передачи тонкой структуры поверхности объектов, что обуславливает большую реалистичность изображения и художественную ценность кинопроизведения. Для количественной оценки передачи малых деталей изображения, в отли-

Таблица 6. Критерий угловых размеров экрана различных систем кинематографа

Формат, ширина пленки/ шаг кадра	Соотношение сторон кадра	Критерий угловых размеров экрана	
		Последний ряд	Средний ряд – Визуальная оценка
35-мм киноплёночные системы			
Кашетированный, 35/4	1,85:1	0,430	0,300 почти хорошо
Классический, 35/4	1,37:1	0,500	0,347 почти хорошо
Широкоэкранный, 35/4	2,35:1	0,383	0,267 почти хорошо
70-мм киноплёночные системы			
Широкоформатный, 70/ 5	2,2:1	0,263	0,200 хорошо
Аймакс, 70/15	1,44:1	0,133	0,110 отлично
Цифровой электронный кинематограф			
Цифровой электронный 2К		0,450	0,314 почти хорошо
Гибридный 2К – съёмка, 35-мм проекция		0,280	0,152 почти отлично
Гибридная 35-мм плёнка – съёмка, 2К – проекция		0,450	0,314 почти хорошо
Гибридная 35-мм – съёмка, 2К – проекция			
Цифровая электронная 4 К			

Таблица 7. Критерий устойчивости изображения различных систем кинематографа

Название системы	Критерий устойчивости изображе-		
	Первый ряд	Средний ряд Визуальная оценка	
35-мм киноплёночные системы			
Кашетированный, 35/4	1,85:1	0,514	0,279 почти хорошо
Классический, 35/4	1,37:1	0,380	0,206 хорошо
Широкоэкранный, 35/4	2,35:1	0,487	0,262 почти хорошо
70-мм киноплёночные системы			
Широкоформатный, 70/ 5	2,2:1	0,279	0,151 почти отлично
Аймакс, 70/15	1,44:1	< 0,1	< 0,1 отлично
Цифровой электронный кинематограф			
Цифровой электронный 2К		< 0,1	< 0,1 отлично
Гибридный 2К – съёмка, 35-мм проекция		0,380 0,152 почти отлично	0,206 хорошо
Гибридный 35-мм съёмка, 2К – съёмка		< 0,1	< 0,1 отлично
Цифровой электронный 4К		< 0,1	< 0,1

чие от резкости изображения, следует пользоваться понятием разрешающая способность, а не разрешение, т.е. значением пространственной частоты, при которой зритель перестает замечать решетку на выходе системы (или звена системы) при расположении на ее входе изображения решетки абсолютного контраста.

Угловые размеры экрана

Критерий угловых размеров экрана η_E в существенной мере определяет комфортные условия наблюдения изображения на экране в кинотеатре. Значения этого критерия может быть подсчитано по следующей эмпирической формуле [5].

$$\eta_E = 6 (\alpha \beta) - 0,5, \quad (8)$$

где α, β – углы соответственно по горизонтали и по вертикали, в которых зритель видит экран в кинотеатре (градусы).

В таблице 6 приведены значения критерия угловых размеров экрана для разных систем кинематографа, рассчитанные по данным таблицы 4.

Системы электронного кинематографа 2К равноценны 35-мм киноплёночным системам в отношении угловых размеров экрана, но уступают в этом 70-мм системам.

Устойчивость изображения

Качество изображения в отношении устойчивости изображения может количественно оцениваться следующим критерием:

$$\eta_W = 0,4 S_d B_E / L_E B_F, \quad (9)$$

где S_d – смещение изображения на пленке, мкм, B_E – ширина изображения на пленке, мм. Рассчитанные по формуле (9) значения критерия устойчивости изображения даны в таблице 7.

Неустойчивость изображения часто замечается зрителями в большей части кинотеатров с киноплёночным оборудованием. Электронные системы кинематографа имеют преимущество по сравнению с обычными 35-мм киноплёночными системами – отличную устойчивость изображения. Однако такая же отличная устойчивость изображения может быть достигнута и в киноплёночных системах путем сравнительно несложного усовершенствования проекторов. Так в киноплёночных системах Аймакс (70-мм киноплёнка) и Максивижн (35-мм киноплёнка) колебания изображения настолько малы, что они не замечаются зрителями.

Помехи изображения

Для киноплочных систем кинематографа являются характерными помехи в виде зернистости изображения, обусловленные зернистым строением светочувствительных слоев киноплёнки.

Значения критерия качества изображения в отношении зернистости изображения могут вычисляться по формуле [6].

$$h_z = K_z \left[\sum_{i=1}^K (\sigma_j g_j p_j / M_j)^2 \right]^{0.5}, \quad (10)$$

Где g_j – градиент характеристической кривой части кинематографического процесса от киноленты номер j до изображения на входе проекционного объектива; M_j – оптическое увеличение от киноленты номер j до изображения на входе проекционного объектива; нормирующий множитель, который можно принять равным

$$K_z = 0,5;$$

$$\sigma_j = \sigma_j^* \cdot \sqrt{A^* \cdot A}. \quad (11)$$

В формуле (11) σ_j – среднеквадратичное значение флуктуации плотности киноленты номер j (негатив, дубль-негатив, контратип, позитив), для яркости экрана равной 10 % от его номинальной яркости, что соответствует плотности позитива на входе проекционного объектива, равной $D = 1$; σ_j определяется для апертуры измерительного прибора $A = 2 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2$.

Если при измерении оптической плотности использовался прибор с апертурой A^* , то измеренная оптическая плотность σ_j умножается на следующую величину

$$p_j = \left[\sum_{m=t}^n p_m^{-2} + (0,75 M_e / L_z)^{-2} \right]^{-0.5} \quad (12)$$

где p_j – критическая пространственная частота от данного звена до выхода кинематографического процесса, включая зрительный анализатор (мм^{-2})

где p_m – критическая пространственная частота для звена кинематографического процесса номер t , который последовательно изменяется от t для звена, следующего за кинолентой номер j , и до n для последнего звена кинематографического процесса – проекционного экрана; M_e – оптическое увеличение части кинематографического процесса от звена номер j до экрана; L_z – расстояние от экрана до зрителя (м) коэффициент 0,75 определяется значением критической пространственной частоты зрительного анализатора (для плоскости сетчатки глаза зрителя).

Для нескольких систем кинематографа в таблице 8 приведены данные расчета значений критерия зернистости по формулам (10–12).

Такого рода искажения естественно не возникают в цифровых электронных системах. Однако особенностью кинематографических систем любого рода является дискретный характер изображения. В электронных системах эта особенность обуславливается ограниченными размерами светочувствительных модулирующих свет элементами. Принципиальное отличие цифровых

Таблица 8. Критерий зернистости разных киноплочных систем кинематографа

Название системы		Критерий зернистости	
		Средний ряд	Визуальная оценка
Широко-форматный кинематограф, 70/5	2,2:1	0,096	отлично
Аймакс, 70/15	1,44:1	0,123	отлично
Кинематограф классического формата, 35/4	1,37:1	0,151	почти отлично
Широкоэкранный кинематограф, 35/4	2,35:1	0,190	почти отлично

систем от киноплочных заключается в регулярном характере дискретной структуры.

Электронные цифровые звенья в кинематографическом процессе, практически не порождая дополнительной зернистости изображения, могут, однако, вносить помехи в виде ложных изображений (артефакты), которые могут стать заметными при большой компрессии цифровой информации.

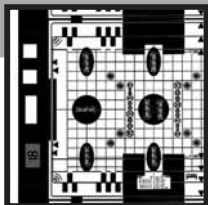
Количественные методы оценки такого рода помех изображения разрабатываются [7–8].

Помехи изображения в виде зернистости, царапин, загрязнений ухудшают качество изображения в обычных системах киноплочного кинематографа. По мере эксплуатации, износа фильмокопий помехи изображения увеличиваются. В цифровых системах электронного кино помехи изображения в процессе эксплуатации практически не меняются. [n](#)

Литература

1. Комар В.Г. О резкости изображения в кинематографе. Техника кино и телевидения. № 10. 1962.
2. Комар В.Г. О методах расчета разрешения цифровых и киноплочных систем кинематографа. Техника кино и телевидения № 8. 2003.
3. Digital Cinema Initiatives, LLC. Digital Cinema System Specification, July, 2005.
4. V.Baroncini, E.L. Machler, M. Sintas. The Image Resolution of 35 mm Cinema in Theatrical Presentation, Motion Imaging Journal. February/March, 2004.
5. Комар В.Г. Информационная оценка качества изображения кинематографических систем. Техника кино и телевидения. № 10. 1971
6. Комар В.Г. О зернистости изображения в кинематографе. Техника кино и телевидения. № 4. 1968.
7. R. Morton, M. Maurer, C. DuMont. Assessing the Quality of Motion Picture System from Scene-to-Digital Data. SMPTE Journal. February/March, 2002.
8. R. Morton, M. Maurer, C. DuMont. An Introduction to Aliasing and Sharpening in Digital Motion Picture Systems. Motion Imaging Journal. May/June, 2003.

Продолжение статьи в следующем номере журнала: сравнение цифровых и киноплочных систем кинематографа в отношении: яркость экрана, светочувствительность и экспозиционная широта, контраст изображения, цвет изображения, долговременное хранение кинокартин, экономические преимущества и недостатки, перспективы систем кинематографа с трехмерным изображением.



ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА – стратегия развития киноотрасли

Н.С. Ковалевская
 первый заместитель Генерального директора ОАО НИКФИ

В последнее время в организации технологических процессов фильмопроизводства и кинопроката сложилась ситуация, при которой оптимальное сочетание традиционных и новых технологий позволяет получить кинематографическую продукцию высокого качества. Технический прогресс в киноиндустрии, обусловленный внедрением цифровых технологий с разнообразием форматов записи, аппаратных и программных средств, привел к возросшим требованиям к уровню подготовки производителей и прокатчиков.

Тем не менее внедрение в отечественную киноиндустрию передовых технологических процессов производства и демонстрации цифровых кинофильмов, модернизация традиционных технологий не должны развиваться стихийно. Выбор технологий должен быть научно обоснован.

Обещанное высокое качество должно быть гарантированным, а государственный контроль параметров качества по-прежнему постоянным.

Уровень национального фильмопроизводства и кинопроката требует **комплексного подхода в оценке качества** выпускаемой продукции и выполнения услуг. Он характеризуется не только контролем отдельных параметров, но и оценкой состояния технологических процессов в целом. Современные требования к качеству диктуют построение системы менеджмента качества в соответствии с ИСО серии 9000, которая рассматривается как дополнительная к существующим технологиям.

Основными направлениями **разработки и реализации** системы управления (контроля) качеством **в отрасли должны стать:**

- проведение научных исследований, связанных с разработкой, адаптацией и внедрением современных технических решений;
- разработка технических регламентов, устанавливающих **обязательные требования** в области фильмопроизводства и кинопроката.;
- разработка квалификационных требований к персоналу;
- создание отраслевой метрологической службы по обеспечению единства измерений.

В ведущих кинематографических державах контроль качества кинопроизводства, кинопоказа, состояния зрительского комфорта осуществляется авторитетными комиссиями технических экспертиз, осуществляющих консультации по улучшению качества. К ним относятся: высшая кинотехническая комиссия (ВКК) во Франции;

система сертификации THX на основе стандартов, разработанных знаменитой кинокомпанией Lucasfilm's в США; сертификация Dolby laboratories и др., гарантирующие кинозрителю, что он увидит и услышит фильм на том уровне качества, каким его и задумывали создатели фильма.

В России процедура сертификации согласно Федеральному закону «О техническом регулировании» осуществляется путем сертификации. Для объектов, не несущих в явном виде опасности для жизни и здоровья человека, в РФ применяется добровольная сертификация, которая действует сегодня и в отношении кинопоказа.

Основой создания комплексной системы управления качеством может и должен стать ОАО НИКФИ, которое имеет:

- зарегистрированную систему добровольной сертификации услуг кино-видеообслуживания зрителей (рег. № РОСС RU.В006.04.Е100);
- аккредитованную и зарегистрированную в Государственном реестре России испытательную лабораторию как в обязательной, так и в добровольной сфере сертификации ГОСТ Р по проведению сертификационных испытаний параметров технологического оборудования профессиональной кинематографии (рег. № РОСС RU 0001.22МЕ51);
- сертификат соответствия системы менеджмента и качества производства требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2001 (рег. № РОСС RU. 3066.04С00).

Институтом проводятся работы по сертификации кино-, видеозрелищных предприятий, кинопроекционной, звукотехнической и другой аппаратуры, по экспертизе технического состояния фильмокопий с целью выявления и устранения причин, негативно влияющих на качество фильмовых материалов, и экспертной оценке оказываемых зрителям услуг.

НИКФИ имеет многолетний опыт в проведении работ, связанных с разработками требований к качеству кинематографической продукции, методам измерений параметров технологических процессов, используемым материалам и оборудованию. Целесообразно было бы в ОАО НИКФИ создать аккредитованные сертификационные центры для проведения технических экспертиз на основе стандартов не только в системе ГОСТ Р, но и стандартов, разработанных ведущими зарубежными кинокомпаниями.

Вопросы обеспечения качества должны стать ключевыми на всех уровнях производства в киноотрасли. n

МОНОРАКУРСНЫЙ СТЕРЕОПСИС

Г.Г. Голенко
кандидат
технических
наук
Генеральный
директор
ОАО «Спейс Вижн»

КАК ОЩУЩЕНИЕ ОБЪЕМА ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ПЛОСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ



Рассмотрена система вещательного объемного телевидения, основанная на использовании стандартного двумерного телевизионного изображения, преобразуемого специальным оптическим растром в перцептивное объемное изображение, на основе преобразования Кэрролла, методами инженерной психофизики. Показано, что для формирования устойчивого стереопсиса необходимо использовать мониторы с размером диагонали экрана свыше 40 дюймов. Рассмотрены психофизические эффекты, возникающие в системе.

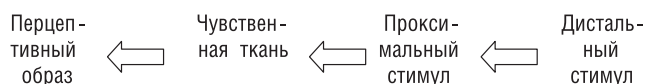
п Создание систем вещательного объемного телевидения является приоритетным научно-техническим направлением исследования ведущих мировых держав. Основой для создания таких систем считается система многоракурсного телевидения. Преимущества многоракурсного телевидения, казалось бы, неоспоримы: система безочковая, зона видения, в принципе, может быть сравнимой с зоной видения обычного телевидения, возможно оглядывание отображаемых объектов. Согласно [1], правительство Японии в 2006 году выделило из госбюджета на создание системы многоракурсного объемного телевидения около 10 млн. долларов. Вся программа рассчитана до 2020 года. Однако на пути создания систем **вещательного** многоракурсного объемного телевидения лежит непреодолимое в обозримой перспективе препятствие. Согласно критерию Липпманна [2, 3], для получения слитного, без видимых скачков, изображения, необходимо, чтобы пространственная периодичность T смены ракурсов в пределах зоны видения равнялась

$$T = d_0 / 2 ,$$

где d_0 – диаметр зрачка глаза, примерно равный 4 мм (рис. 1.) Ясно, что при приемлемом для зрителя значении ширины зоны видения B (порядка нескольких метров), число ракурсов N , такого гипотетического телевизора равно B/T . Следовательно, и количество видеоканалов на одну объемную картинку значительно больше тысячи. Одновременно следует иметь в виду, что количество пикселей в одном ракурсе должно быть порядка 10^6 , а общее количество пикселей в объемном изображении больше чем 10^9 , что в обозримом будущем технически неосуществимо.

Другое, якобы безусловное преимущество многоракурсного телевидения состоит в наличии горизонтального параллакса (эффект оглядывания). Необходимость в объемном изображении горизонтального параллакса была механически перенесена в область телевидения из голографии. В голографии горизонтальный параллакс является естественным, что и позволило ей занять то высокое место, которое она и до сих пор занимает. В телевидении наблюдение изображения, как правило, осуществляется сидя, группой в несколько человек в пределах зоны видения, т.е. вполне достаточно **одного** ракурса, но при сохранении объемности изображения в пределах **всей** зоны видения, но это другая парадигма, основанная на методах **инженерной психофизики**, методах **управления** процессом формирования **ощущений**.

Формирование образа мира возникает в результате ощущений. По Леонтьеву, действует следующая причинно-следственная связь:



В зрительной модальности:

- **дистальный стимул** – это зрительно значимая часть излучения экрана монитора
- **проксимальный стимул** – это ретинальное изображение
- **чувственная ткань** – это зрительная система человека
- **образ** – это двумерное либо трехмерное перцептивное изображение телевизионной информации.

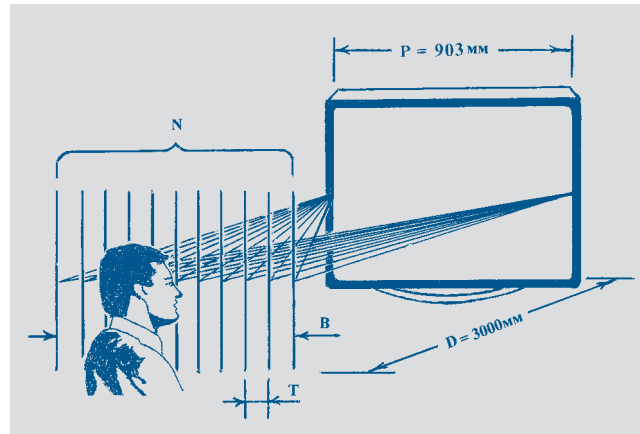


Рис. 1. Параметры зоны видения гипотетического многоракурсного объемного телевизора

Если мы хотим остаться в пределах традиционной концепции телевидения, подразумевающую **полную автономность зрителя**, то мы, реализуя задачу получения объемного изображения, **обязаны воздействовать исключительно на дистальный стимул**, т.е. на телевизионное изображение без устройств, размещенных на зрителе, например, очков. Если мы хотим остаться в пределах **поля вещательного телевидения в реальном времени**, то мы **обязаны** работать со **стандартным телевизионным сигналом**. Если мы хотим сохранить основную массу пользователей, то мы **обязаны** решить задачу на базе доработки **обычных телевизоров**. Если мы желаем обеспечить перспективный спрос на данный вид продукции, то мы **обязаны** обеспечить **экологическую** (в частности, **офтальмологическую**) безопасность изделий. Естественно, что затраты на разработку и сроки реализации проекта должны быть приемлемыми для инвесторов.

Такая система может быть создана на основе моноракурсного стереопсиса. Рассмотрим основные положения теории стереопсиса применительно к данной задаче.

Стереопсис – это, с одной стороны, ощущение объема, возникающее при наблюдении **объектов физического пространства** либо их **изображений**, с другой стороны, процесс формирования данного ощущения. В данном случае нас будет интересовать в основном процесс формирования стереопсиса при наблюдении **изображений** реальных объектов.

Прежде чем перейти к изложению материала по существу, введем основные понятия теории стереопсиса. **Точка фиксации** – точка, расположенная на пересечении **главных зрительных направлений**, т.е. направлений, проходящих через оптические центры глаз и фовеа. **Гороптер** (в визуальной плоскости – **окружность Вайс-Мюллера**) – геометрическое место пересечений идентичных зрительных направлений при постоянной точке фиксации. **Идентичные зрительные направления** – направления, равноотстоящие (по углу) от главных зрительных направлений. **Диспаратные точки** – точки вне гороптера. Мерой диспаратности данной точки есть разность углов конвергенции на данную точку и точку фиксации. **Биокулярный план** – пространственно-временная сумма гороптеров соответствует перемещению точки фиксации по гороптеру. **Зоны стереопсиса** – области пространства, в которых стереопсис имеет определенное качество. **Зона Панума** (фузии, слитного стереопсиса) – зона, расположенная по обе стороны гороптера, в пределах



Рис. 2. Факторы стереопсиса

которой диспаратные точки воспринимаются слитными. Ограничена порогом **диплопии** (двоения). **Зона количественного стереопсиса** – область пространства, в пределах которой возможно перцептивное определение относительных удаленностей диспаратных точек от точки фиксации. **Зона качественного стереопсиса** – область пространства, в пределах которой еще сохраняется стереопсис. **Эгоцентр, циклопический глаз** – точка, расположенная по середине глазного базиса.

Непосредственно стереопсис формируется под воздействием ряда факторов: **биноклярного, когнитивного и аккомодационного** (рис. 2).

Под **биноклярным фактором** понимают, с одной стороны, процесс формирования зрительной системой **биноклярного плана** [4], т.е. области пространства, в пределах которой точки пространства воспринимаются равноудаленными от наблюдателя, с другой стороны, процесс формирования абсолютной и относительной диспаратности [5, с. 104–105],

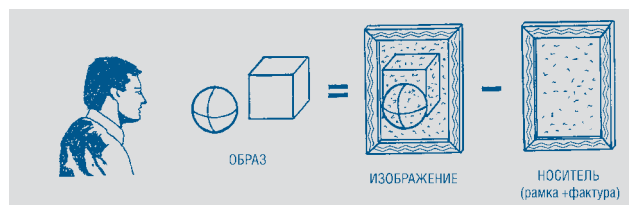


Рис. 3. Преобразование Кэрролла

т.е. физиологически обусловленных **стимулов удаленности**, которые возникают при удалении пространственных точек от биноклярного плана горютера. В монокурсных системах стереопсиса биноклярный фактор играет роль стартового импульса (стимула), активирующего когнитивный процесс (т.е. процесс мышления на **уровне подсознания**).

Когнитивный фактор, в отличие от биноклярного, обусловлен взаимодействием со зрительной системой совокупности признаков удаленности, присущих ретинальным **изображениям** пространственных объектов. Поскольку такое взаимодействие в равной мере возникает как при биноклярном, так и монокулярном наблюдении, данные признаки еще называют **монокулярными признаками удаленности**. Согласно [6], таких признаков насчитывается более десяти. В составе совокупности можно выделить группу признаков удаленности, несущих информацию о взаимном пространственном расположении объектов, их форме, цвете и фактуре, которые могут быть **поименованы**, а следовательно, подлежат структурной классификации. Например, линейная перспектива, заслонение дальних объектов ближними,

близость к горизонту и т.п., а также временной параллакс движения. Имеются когнитивные признаки удаленности, которые следуют из **априорных знаний** об объектах; например, если ретинальные изображения двухэтажного и многоэтажного зданий равны, то мы априорно знаем, что удаление многоэтажного здания больше, чем одноэтажного. И, наконец, признаки удаленности, основанные на пространственно-временном прочтении **контекста** (смыслового содержания образа), например, на изменении масштаба изображения.

Под **аккомодационным фактором** стереопсиса понимают степень аккомодации и связанную с ней резкость изображения. Согласно [7], эффективность действия аккомодационного фактора не превышает 5 м.

В физическом зрительном пространстве все перечисленные факторы способствуют стереопсису по определению. При монокулярном стереопсисе это не так. Например, биноклярный фактор картинной плоскости угнетает стереопсис.

Можно сформулировать задачу построения систем монокурсного стереопсиса: это **объемно-пространственная визуализация образа**, или отделение перцептивного пространственного образа от носителя изображения (преобразование Кэрролла [8, с. 108]) (рис. 3) методами инженерной психофизики.

Рассмотрим применение основных положений теории монокурсного стереопсиса к системе перцептивного объемного телевидения [9, 10, 11]. В основу системы положен принцип формирования растровым оптическим элементом (РОЭ) из плоского изображения картинной плоскости трехмерного опорного оптического поля (привнесение диспарат-

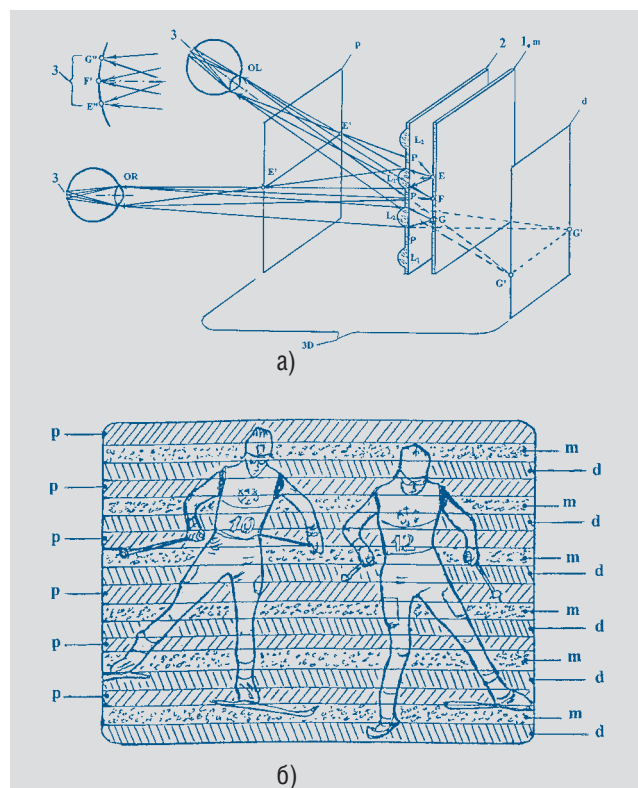


Рис. 4. Оптическая схема РОЭ (а) и структура монокулярного ретинального изображения (б). 1 – картинная плоскость телевизора, 2 – РОЭ, 3 – ретинальное изображение.

ности) как **основы** для старта когнитивного процесса формирования **перцептивного 3D-образа**. В неограничивающем варианте устройство (рис. 4а [9, 10]), реализующее данный принцип, состоит из стандартного телевизионного монитора (плазменной, либо ЖК-панели) с картинной плоскостью l , и РОЭ 2, состоящего из периодической последовательности двух групп горизонтально-протяженных цилиндрических линз L_1 и L_2 , с несколько отличными параметрами. Линзы разделены оптически пассивными промежутками P . Вертикальный размер линз соизмерим с размером пиксела. Рассмотрим работу всего устройства на примере действия одной ячейки $L_1 - P - L_2$. Линза L_1 формирует действительное изображение $E - E'$ точки E в предэкранном пространстве, создавая тем самым условно-ближний план « p ». Линза L_2 , создавая мнимое изображение $G - G'$ точки G в заэкранном пространстве, формирует условно-дальний план « d ». Промежуток P , не изменяя пространственное положение точки F картинной плоскости, формирует условно-средний план « m ». Все три плана равномерно построчно чередуются друг с другом (рис. 4, б) и создают практически контекстно-идентичные **точечные** ретинальные изображения E', P и G' точек E, F и G построчных слоев опорного трехмерного оптического поля. Сформированное цилиндрическим РОЭ световое поле по сути, является **диффузно-симметричным** полем. Привнесение в систему дополнительного оптического элемента (глаза), обладающего малой апертурой и достаточно пространственно отстоящего от планов, создают пространственную упорядоченность образа, при этом не изменяя размеров зоны видения. По этой же причине пространственная ориентировка линиатуры РОЭ принципиального значения не имеет. Другими словами, оптическая система глаза преобразует диффузно-симметричное оптическое поле, созданное РОЭ, в практически центрально-симметричное поле.

На рис. 5, а представлена пространственная конфигурация опорного оптического трехмерного поля, на рис. 5 б представлен характер изменения размеров и положений планов опорного оптического поля в зависимости от смещения зрительного центра (точки наблюдения OE' относительно исходного положения OE). Изображение как бы следует за зрителем, изменяются его угловые размеры, но при этом расстояния между планами и порядок их построчного чередования сохраняется. Заметим, что данная система, помимо решения основной задачи: создания объемного образа, решает другую, не менее значимую – создает офтальмологически комфортные условия перцепции. Посредством постоянной переакомодации хрусталика на разноудаленные планы, происходит усиленный приток крови к целиарной мышце, что заметно снижает статическую утомляемость зрительной системы. В офтальмологии аналогичная восстановительная процедура называется «раскачкой».

Возникает естественный вопрос: **почему** в данной системе возникает стереопсис? Рассмотрим процесс формирования ретинальных стереопар в физическом зрительном пространстве (рис. 6, а) и перцептивном зрительном пространстве, (рис. 6, б) на примере формирования элементарных стереопар QL / QR и EL / ER точек Q и E в соответствующих пространствах. На чертежах рис. 6 представлена асимметричная геометрия, что позволяет представить геометрический образ диспаратности η в наиболее явном

виде. В связи с чем будем считать, что точки, расположенные по зрительным направлениям $OL - P$ и $OL - G$ в минимальной степени не экранируют друг друга по этим направлениям, т.е. их излучение свободно достигает левого глаза. С целью упрощения на рис. 6, б РОЭ и картинная плоскость объединены в одну позицию 4.

В физическом пространстве стереопара OL / QR несет ракурсную информацию об **одной** точке Q .

В перцептивном пространстве стереопара EL / ER , по существу, является стереопарой EL / FR , т.е. несет информацию о **разных** точках E и F . Таким образом, в данной системе **корреспондируют разные**, но достаточно пространственно близкие точки G и F , а также E и F . **Можно предположить**, что в перцептивном пространстве **зрительная система** воспринимает **контекстную разность** (КР) точек E и F (F и G), рис. 6, б как **ракурсную информацию** (РИ) о точках Q и P , рис. 6, а, т.е. имеется **перцептивное равенство** $РИ=КР$.

Другими словами,

$$QL / QR = FL / ER, \quad (1)$$

$$PL / PR = FL / GR. \quad (2)$$

Таким образом, можно говорить о существовании в перцептивном пространстве точек (GF') и (EF') , **аналогов** точек P и Q физического пространства.

Позитивное перцептивное восприятие зрительной системой стереопар (1) – (2) **именно как стереопар** не является единственным фактором формирования стереопсиса в данной системе. Двудейным процессом формирования стереопсиса, наряду со стереоскопическим фактором, является фактор **когнитивного дополнения планов по глубине**

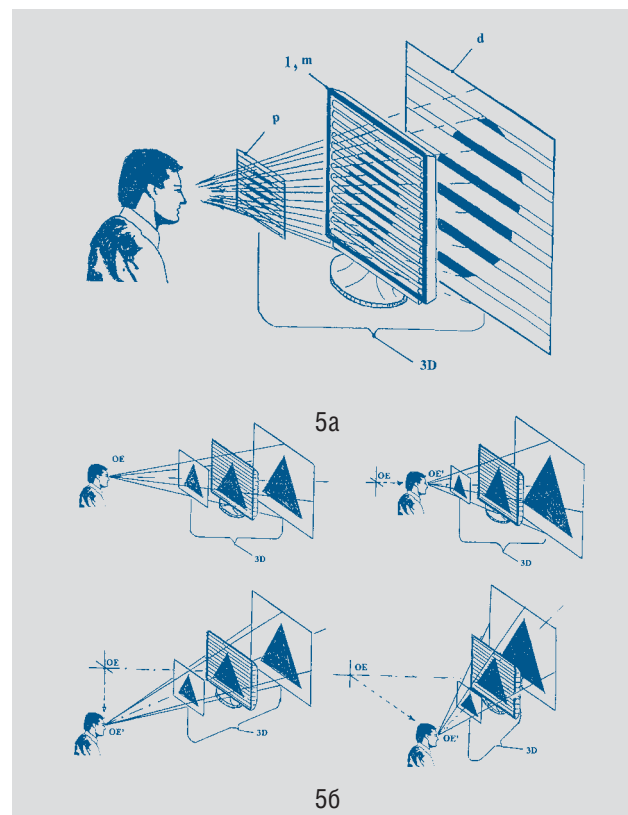


Рис. 5. Структура объемного опорного оптического поля (а) и изменения структуры поля при изменении точки наблюдения (б), l – картинная плоскость экрана, РОЭ

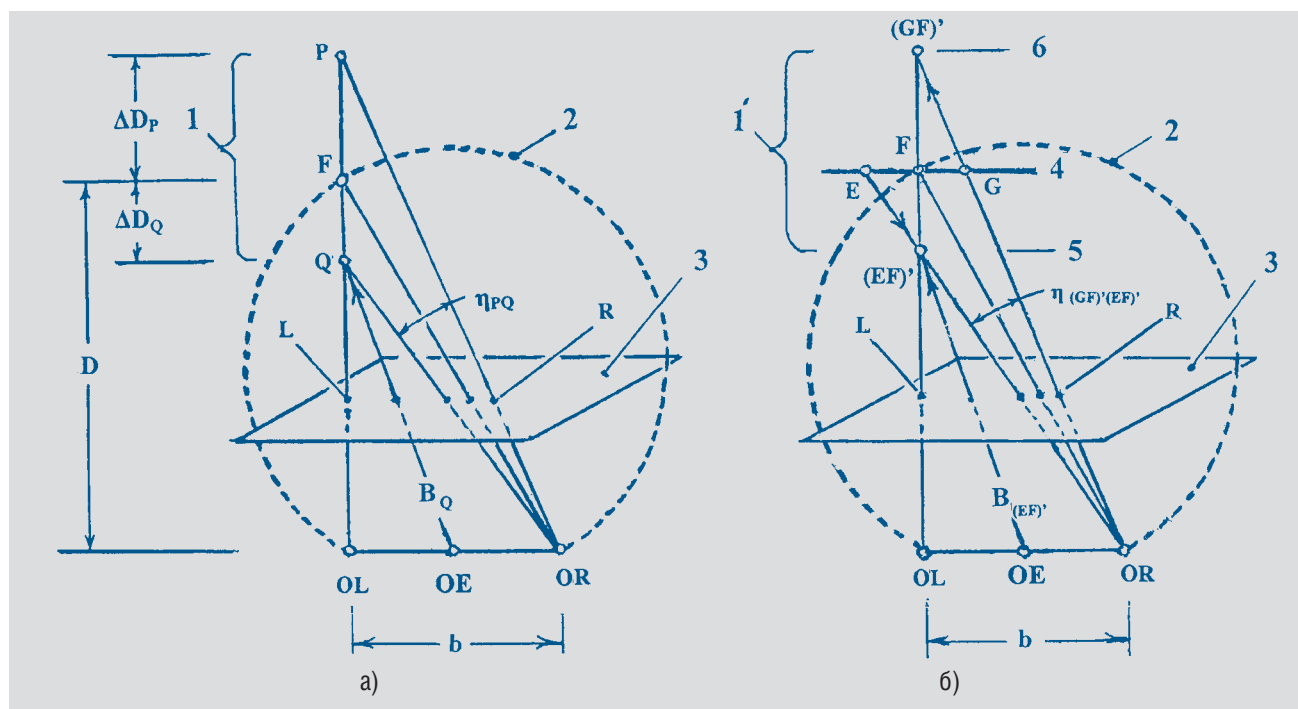


Рис. 6. Стереопсис физического (а) и перцептивного (б) пространств: 1 – физический объем; 1' – перцептивный объем; 2 – гороптер (окружность Вайс-Мюллера); 3 – плоскость, эквивалентная ретинальным плоскостям; 4 – картинная плоскость; РОЭ, условно-средний план; 5 – условно-ближний план; 6 – условно-дальний план.

или **восстановления континуума объемного образа**. Эффект континуального дополнения планов в системах монокурсного стереопсиса подтвержден экспериментально. В НИКФИ [12] успешно функционирует установка стереотелепроекции монокурсных изображений на большой экран поляризационным методом, при этом горизонтальный сдвиг идентичных изображений был сравним с величиной глазного базиса. Наблюдаемый перцептивный объем имеет ярко выраженный континуальный характер с эффектом присутствия. В 30-х годах прошлого века в НИКФИ Е.М. Голдовским [13] был проведен эксперимент по кинопроекции на ряд последовательно расположенных полупрозрачных экранов из театральной марли. Для минимизации горизонтальных параллаксов зрители (два человека) располагались в непосредственной близости от луча проектора. В эксперименте демонстрировался фильм Васильевых «Чапаев». По словам Н.А. Валюса «... конница носилась по лаборатории...»

При объяснении эффекта монокурсного стереопсиса следует обратить внимание на то, что в **количественном** отношении разница между правым и левым истинными (биракурсными) стереокадрами мала. Анализ наложений прорисовок истинных стереопар, проведенных автором, показал, что максимальный горизонтальный сдвиг идентичных точек на стереокадрах находится в пределах 0,7 – 2,5 % от горизонтального размера кадра. В системах монокурсного стереопсиса горизонтальный сдвиг идентичных точек находится в этих же пределах, т.е. стереостимулирование эффекта стереопсиса выступает в виде стартового стимула для запуска когнитивного процесса.

Рассмотрим механизм влияния стереоконтраста на монокурсный стереопсис. Проблема стереоконтраста (L/P) является специфической проблемой монокурсного стереопсиса и, за редким исключением, в физическом зрительном

пространстве не возникает. В самом деле, отношение стимулов QL / Q (рис. 6, а) практически тождественно равно единице, т.е. ни одно из направлений не является доминирующим, поскольку оба стимула сформированы **одной** точкой. В этом случае, бинокулярное направление $OE - Q$ подчиняется закону идентичных зрительных направлений Геринга [5, стр. 108] и равно полусумме правого и левого зрительных направлений. То же самое относится и к другим точкам физического зрительного пространства. Как было отмечено выше, в системе перцептивного объемного телевидения стереопары точек (GF) и $(EF)'$ формируются **разными** монокулярными стимулами, которые могут значительно отличаться по своей силе. При этом закон Геринга уже не работает. В этом случае, согласно [14], происходит смещение бинокулярного зрительного направления в сторону более сильного стимула. Из эксперимента [15] следует, что это смещение значимо только при заметном отличии стереоконтраста от единицы и имеет характер изменения, близкий к пороговому. Заметим, что согласно рекомендациям СТО, контраст точек не должен превышать значения 0,7. Из вышеизложенного можно сделать практически важный вывод о том, что картинная плоскость является **выделенной**, так как стереоконтраст точек данной плоскости **всегда** равен единице, и, следовательно, бинокулярные зрительные направления на точки картинной плоскости **всегда постоянны**. Из этого следует, что гороптер **органически** тяготеет к картинной плоскости 4, а планы 5 и 6 являются диспаратными. В этом случае, представляется логичным размещение опорного физического поля в пределах зоны Панума, другими словами, оптические параметры РОЭ должны обеспечить совпадение диспаратных планов 5 и 6 с порогом диплопии.

Рассмотрим явление эффекта смещения бинокулярного направления на глубину опорного оптического поля. Если

стимул F заметно доминирует над стимулом G , то точка G приближается к F , диспаратность $\eta_{(GF)(EF)}$ уменьшается, плоскость b условно-дальнего плана приближается к картинной плоскости, перцептивная глубина l' опорного поля уменьшается, происходит **угнетение** стереопсиса. Аналогично происходит угнетение стереопсиса при заметном доминировании стимула F над стимулом E . Максимальное уменьшение перцептивной глубины опорного поля проис-

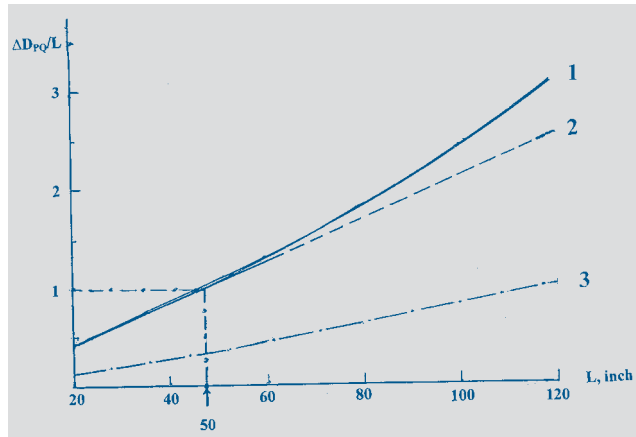


Рис. 7. Зависимость нормированной глубины зоны Панума от размера диагонали экрана: 1 – граница зоны Панума ($\Delta D_p + \Delta D_q$) согласно (3') и 2 – квадратичное приближение, 3 – фронтопараллельная зона.

ходит в том случае, если стимул F одновременно доминирует над стимулами G и E . Угнетение стереопсиса не происходит в двух случаях: при равенстве всех трех стимулов либо (из соображений симметрии) при равном доминировании стимулов G и E над стимулом F . Таким образом, можно сделать вывод о предпочтительности для стереопсиса сцен с выровненным освещением по глубине.

Другим следствием бинокулярного смещения стимулов от разных точек является эффект шумоподавления. В предположении о полной независимости нейросетей правого и левого глаза, согласно [5, стр. 135], бинокулярная чувствительность обнаружения сигнала увеличивается в $\sqrt{2}$ раз.

Рассмотрим влияние размера панели на стереопсис. Из геометрии рис. 6, а следует, что между удалением точки фиксации F , удалением $\Delta D_p, \Delta D_q$ диспаратных точек P и Q , величиной глазного базиса B и абсолютными диспаратностями (т.е. отсчитываемыми от фовеа) η_p и η_q , существует связь:

$$\eta_p = \frac{B}{D^2 + \Delta D_p D} \quad (3) + \Delta D_p = \frac{\eta_p D^2}{B - \eta_p D} \quad (3')$$

$$\eta_q = \frac{B}{D^2 - \Delta D_q D} \quad (3) \quad \Delta D_q = \frac{\eta_q D^2}{B + \eta_q D} \quad (3')$$

В этом случае относительная диспаратность η_{PQ} пропорциональна удаленности ΔD_{PQ} точек P и Q друг от друга,

$$\eta_{PQ} = \frac{B}{D^2} \Delta D_{PQ}, \quad (4)$$

т.е. является **абсолютным стимулом удаленности**. Другими словами, **перцептивный объем** l' одновременно в данной сис-

теме является и **физическим объемом**. На рис. 7 представлен график зависимости удаленности ΔD_{PQ} точек P и Q , нормированной на величину диагонали L экрана от L , выраженной в дюймах. Кривая рассчитана по формуле (3), кривая 2 – по формуле (4) (квадратичная аппроксимация), при $\eta_p = \eta_q = 0,003$ рад. – порог диплопии (двоения), границы зоны Панума (фузии) по Оглу [5, стр. 120], кривая 3 – граница фронтопараллельной зоны. Из рис. 7 следует, что при L более 50 дюймов физическая глубина образа превышает размер диагонали экрана, т.е. все три размера физического пространства соизмеримы. Кроме того, граница зоны Панума существенно превышает границы фронтопараллельной зоны. Это важное обстоятельство. Дело в том, что фронтопараллельная зона, которая является «толщиной» гороптера, «толщиной» бинокулярного плана, не имеет четкой границы. Если диспаратная точка приближается к гороптеру, то ощущение разноплановости диспаратной точки и точки фиксации сохраняется почти до самого гороптера. Если диспаратная точка удаляется от гороптера, то ощущение равноудаленности точек сохраняется долго (рис. 8). Это эффект **гистерезиса**, или тенденции зрительной системы к сохранению стабильности ощущений [5, стр. 124]. Наличие данного эффекта может привести к

уменьшению зоны Панума до 30%. Из (4) следует, что ширина стабильного участка зоны Панума растет пропорционально квадрату удаления от точки фиксации (от экрана телевизора), т.е. пропорциональна L^2 . Таким образом, с ростом дистанции наблюдения, а следовательно, диагонали экрана, уменьшается вероятность захвата фронтопараллельной зоной Панума. Такой захват возможен в результате фактического приближения к гороптеру условно-ближнего и/или условно-дальнего планов в результате технологических погрешностей при установке или изготовлении РОЭ.

На рис. 9 представлен результат расчетов сечений зон стереопсиса в визуальной (горизонтальной) плоскости, увеличение пороговых значений диспаратности к периферии согласно Оглу [5, стр. 120].

Рассмотрим окулооптические характеристики зрения в зависимости от дистанции наблюдения. На рис. 10, кривая 3, представлена расчетная диоптрийная глубина резкости P в единицах L по формуле [7, стр. 24]

$$\frac{1}{P_i} = \frac{1}{3L} + \frac{1}{14}, [M^{-1}], \quad (5)$$

в области перекрестной диспаратности,

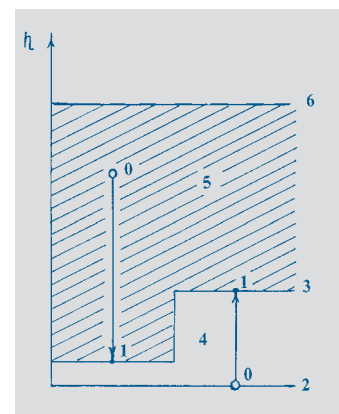


Рис. 8. Гистерезис фронтопараллельной зоны: 0 – начальное положение диспаратных точек, 1 – конечное положение диспаратных точек; 2 – гороптер; 3 – граница фронтопараллельной зоны; 4 – фронтопараллельная зона; 5 – зона Панума; 6 – порог диплопии.

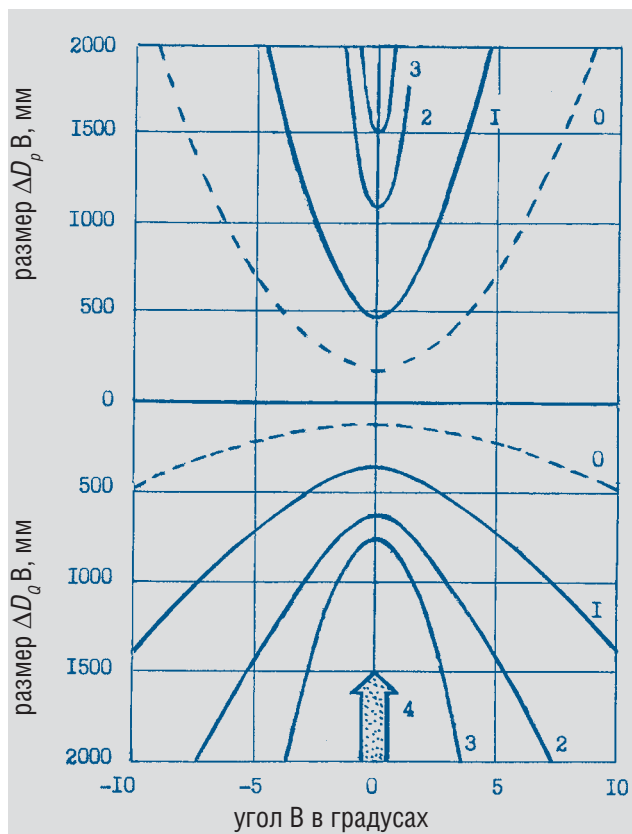


Рис. 9. Зоны стереопсиса. Сечение в визуальной плоскости как функция периферийного смещения диспаратных точек: 0 – граница фронтопараллельной зоны; 1 – граница зоны Панума; 2 – граница зоны, в пределах которой можно количественно оценивать относительную удаленность диспаратных точек; 3 – граница стереопсиса вообще; 4 – направление взгляда

$$\frac{1}{P_2} = \frac{1}{3L} - \frac{1}{14}, [M^{-1}], \quad (6)$$

и в области неперекрестной диспаратности. В области неперекрестной диспаратности, кривые ΔD_p и P_2 расходятся. Точку схода кривых ΔD_q и P с приемлемой степенью точности можно оценить как

$$L \sim \frac{\sqrt{B}}{h}$$

При $B = 0,065$ м и $\eta = 0,00174$ рад (6 угловых минут) $L = 8$ м или 300 дюймов, что соответствует удалению точки фиксации на 24 м. В этом случае область неперекрестной диспаратности в пределах зоны Панума составит около 40 м, а общая глубина перцептивного объема около 50 м, что позволяет рассматривать систему монокурсного стереопсиса как перспективную систему для объемного телекино.

Кривая 4 отражает количество N планов по глубине **реального физического пространства**, воспринимаемых отдельно в пределах $(D - \Delta D_q) - (D + \Delta D_p)$, где $D = 3L$. Согласно [7, стр. 330],

$$N = \frac{B}{\omega} \frac{DD_q + DD_p}{(D - DD_q)(D + DD_p)},$$

где $\omega = 0,000145$ рад – угловое разрешение глаза.

При увеличении L с 20 до 120 дюймов, N медленно уменьшается с 36 до 24. В эксперименте Голдовского присутствовало только три физических плана, однако, перцептивно, пространство представлялось континуальным. Континуальность перцептивного пространства также отмечена в экспериментах Блохина по квазистереоскопической (моноракурсной) телепроекции [12]. Приведенные данные свидетельствуют о **когнитивном наполнении и дополнении** перцептивного пространства планами по глубине.

И, наконец, рассмотрим перцептивные схемы формирования пространственных образов при наблюдении обычного изображения и перцептивного объемного изображения (рис. 11, а, б) (интроспективное введение или с точки зрения гомункулюса). При наблюдении обычного изображения, постоянно происходит соревнование бинокулярного фактора экрана и когнитивных монокулярных признаков удаленности. При доминировании одного из факторов, блок сравнения формирует соответствующий сигнал, определяющий размерность образа. Замечу, что формирование 3D-образа в системе обычного телевидения вполне вероятно, особенно при больших размерах экрана, что, по всей видимости, связано с вовлечением в процесс видения периферийных участков сетчатки. Однако, процесс носит спорадический характер. При наблюдении трансформированного РОЭ изображения, сформированное физическое

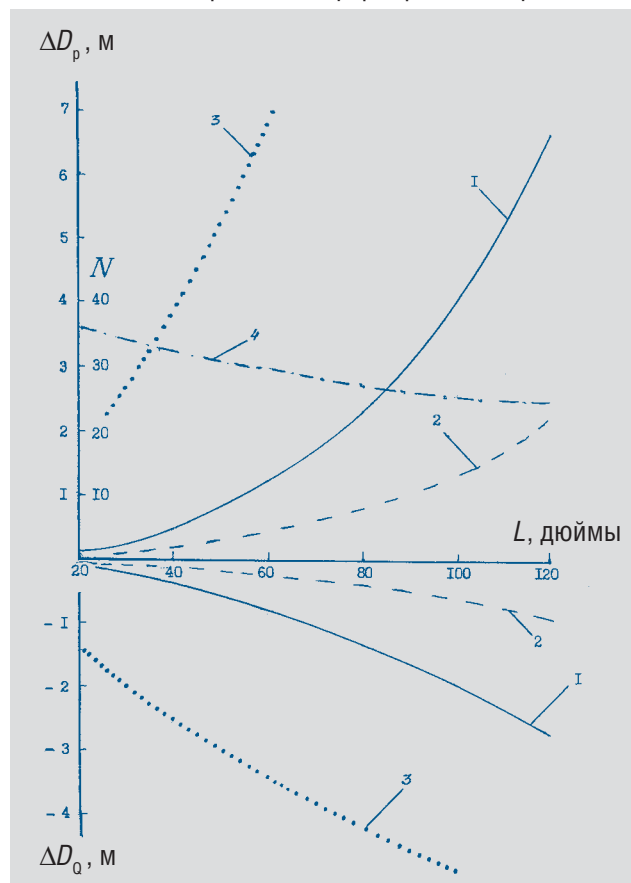


Рис. 10. Зависимость окулооптических характеристик глаза от удаленности точки фиксации ($D = 3L$): 1 – граница зоны Панума; 2 – граница фронтопараллельной зоны; 3 – диоптрийная глубина резкости; 4 – количество планов по глубине, различаемых в физическом пространстве

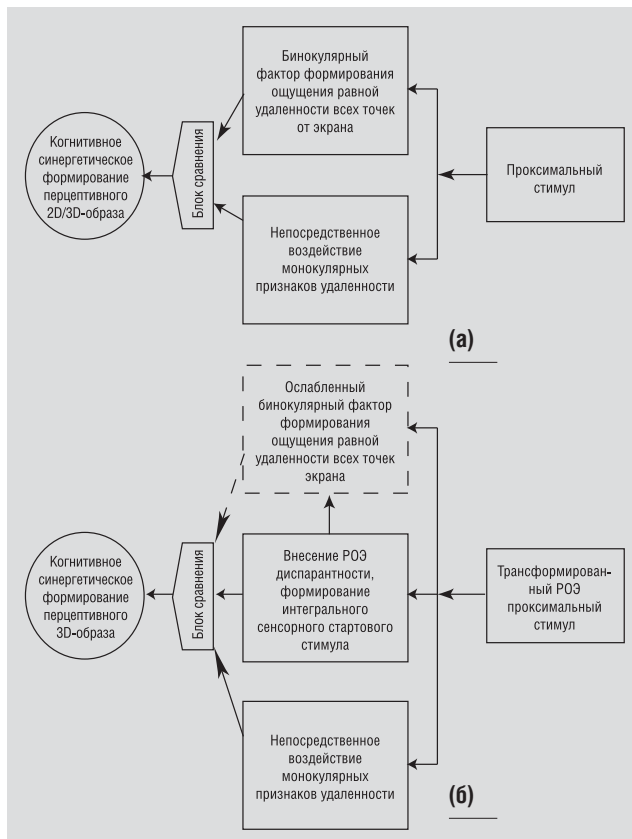


Рис. 11. Схема формирования образов в обычном телевидении (а) и перцептивном объемном телевидении (б)

оптическое опорное поле, с одной стороны, угнетает биноккулярный фактор экрана, с другой стороны, привносит в образ физически реальную диспаратность. В результате формируется интегральный сенсорный стартовый стимул, происходит смещение равновесия в сторону формирования перцептивного 3D-образа. Процесс формирования объемного образа становится активационным.

Выводы

1. Сенсорный фактор, а именно: привнесение в образ глубины посредством искусственной горизонтальной диспаратности, сохранение четкости образа посредством физической локализации изображения в пределах зоны Панума, акцентирование РОЭ картинной плоскости **формирует** суммарный стартовый стимул для запуска когнитивного процесса образования **стереопсиса**.

2. Когнитивный процесс формирования трехмерного образа из двумерного – **синергетический процесс**. В пользу этого говорит следующее: а) рост упорядочности в системе, так как система стала способна к пространственному восстановлению исходного образа (увеличение размерности на единицу); б) система «стимул – чувственная ткань» является открытой со стороны чувственной ткани за счет наличия в ней гигантского объема образной (контекстной) памяти.

3. Система позволяет практически реализовать преобразование Кэрролла.

4. Показано, что физически РОЭ должен растягивать исходное двумерное изображение в пределах зоны Панума

либо с небольшим выходом в зону количественного стереопсиса при $L \leq 300$ дюймов и в пределах диоптрийной глубины резкости при $L > 300$ дюймов в области перекрестной диспаратности.

5. Показано, что устойчивый стереопсис возможен с использованием мониторов с размером диагонали экрана на свыше 40 дюймов.

6. Рекомендованный коэффициент модуляции контраста находится в пределах рекомендаций СТО.

7. Показано, что мера обнаружимости сигнала возрастает в данной системе в $\sqrt{2}$ раз по сравнению с обычной монокурсивной системой.

8. Глубина резкости глаза позволяет фиксировать физическое поле, сформированное РОЭ в пределах зоны Панума на всем практически значимом интервале размеров диагонали экрана монитора.

9. В отличие от обычного, плоского телевидения, система перцептивного телевидения физиологически совместима с зрительной системой человека, так как при просмотре телевизионных программ через РОЭ глаз человека не прикован к одной плоскости, а имеет возможность фиксировать, как минимум, три плоскости.

10. Практическое изготовление РОЭ вполне возможно по существующим технологиям по приемлемым затратам и в приемлемые сроки.

Результаты, представленные в статье, были доложены на Втором и Третьем международных форумах «**Голография ЭКСПО 2005 и 2006**» в г. Москве и частично опубликован в Официальных материалах форумов.

Автор выражает благодарность проф. Г.К. Рожковой (ИППИ РАН) за интерес и полезные комментарии по данной работе. [n](#)

ЛИТЕРАТУРА

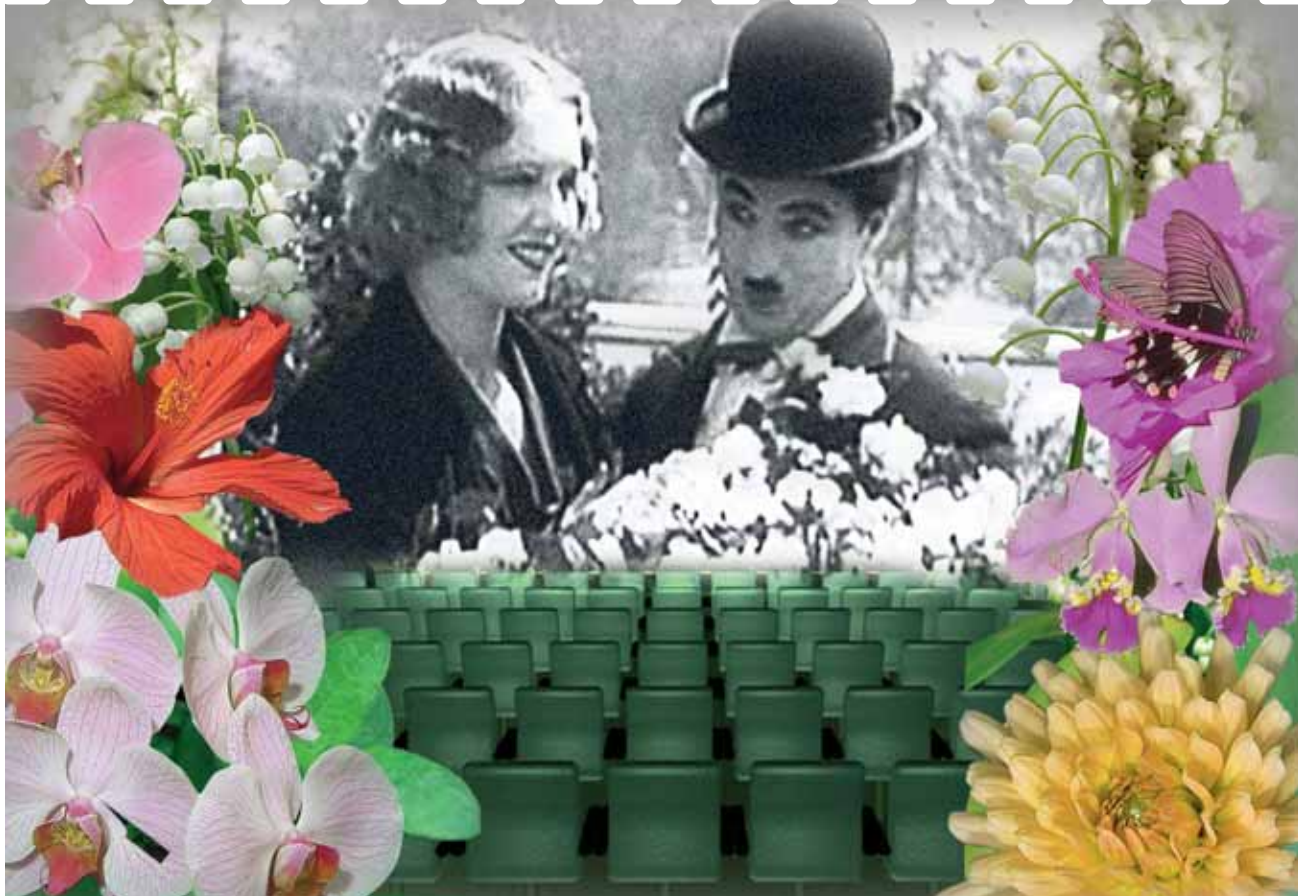
- <http://itk.org.ua/news/industru/item,353/>
- О.Ф. Гребенников. Основные свойства и параметры интегральной фотографии Г. Липпманна. «Труды ЛИКИ». вып. XVII. с. 104–113 1971.
- Г.Г. Голенко. Некоторые вопросы теории линзоастровой съемки объективом большой апертуры с последующей голографической печатью. Труды НИКФИ. вып. 98. с. 86 – 106. М., 1979.
- Г.Г. Голенко. Биноккулярный план пространственный горюптер и зоны стереопсиса в физическом трехмерном пространстве. Официальные материалы Третьего международного форума «ГОЛОГРАФИЯ ЭКСПО – 2006». Москва, сентябрь 2006.
- А.Д. Логвиненко. Зрительное восприятие пространства. М.: Изд. Московского университета, 1981.
- Г.И. Рожкова, С.Г. Матвеев. Зрение детей: проблемы оценки и функциональной коррекции. М.: Наука, 2006.
- Н.А. Валюс. Стереоскопия. М., Изд. АН СССР, 1962.
- Л. Кэрролл. Приключения Алисы в стране чудес. (Художественная литература), М.: 1977. с. 108.
- Г.Г. Голенко. Устройство Голенко для получения объемного изображения объектов. Патент России № 2224273, 11.09.2001.
- Г.Г. Голенко. Устройство Голенко для получения объемного изображения объектов. Патент России № 2224274, 19.02.2002.
- Г.Г. Голенко. Безочковая система приофизического преобразования плоского телевизионного изображения в объемное. Официальные материалы Второго международного форума «ГОЛОГРАФИЯ ЭКСПО-2005» М., 2005. с. 52–53.
- А.С. Блохин К вопросу об объемности кинематографического изображения. ТКТ №10, 2000. с. 32 – 343.
- Н.А. Валюс. Частное сообщение. 2000.
- С.У. Enkelens, W.A. Vandegrind, Binocular visual direction. Vision Res. V. 34, N1, 1994. г. 27–41.
- Г.И. Рожкова, А.К. Панютин, Е.И. Родионова. Биноклярное зрительное направление: модификация концепции циклопического глаза. Сенсорные системы. Т. 17. №3. 2003. с. 214 – 222.



А. Городников
ОАО НИКФИ

СЕНСОРНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ

В К И Н Е М А Т О Г Р А Ф Е



Часть 1

Театральный кинематограф всегда стремился найти новые технические решения, новые инструменты и выразительные средства для повышения эмоционального воздействия на зрителей. Для этого последовательно создавалось звуковое, цветное, объемное кино. Непрерывно увеличивался размер экрана, росло количество каналов звукопередачи, появились стереоскопические кинотеатры и 3D фильмы. В результате, качество изображения и звука в современном пленочном кинематографе уже настолько высоко, что на уровне традиционного аудиовизуального восприятия кинофильма весьма сложно найти новые выразительные средства.

И хотя 80-90% процентов информации человеком воспринимается зрительно, иные органы чувств – обоняние, осязание, органолептическое (вкусовое) ощущение также вносят свой заметный вклад в эмоциональное состояние человека.

Новые технологии кинопоказа

Недавно израильские ученые предложили новую кино-технологию, благодаря которой зрители могут не только увидеть фильм в трехмерном изображении, но и ощутить дуновение ветра, жар огня или привкус океана на губах.

Первый такой кинотеатр, рассчитанный на 48 мест, уже работает в Хайфе. Специальные механические кресла, движения которых управляются компьютером, отклоняются или вибрируют в зависимости от происходящего на экране. В зале также установлены парогенераторы, тепловые пушки и нагнетатели воздуха, создающие ветер. Правда, пока в кинотеатре идет лишь один фильм: об истории происхождения Земли. Но, по мнению разработчиков, к новым технологиям скоро можно будет адаптировать любую голливудскую ленту.

Первый в Москве 4D кинотеатр «Стар Гэлакси» с подвижными креслами, объемным звуком и стереоизоб-

ражением, создающий у зрителей эффект полного присутствия открылся в 2006 году в Торговом центре «Крокус Сити». Первый кинозал с оборудованием SimEx Iwerks появится и в Питере уже в декабре 2006 года. Как рассказал “Ведомостям” Эдуард Пичугин, гендиректор управляющей сетью “Кронверк-Синема” компании “Эпос”, кино-аттракцион появится в развлекательном комплексе “Родео-Драйв”. “Мы открываем там шестизальный мультиплекс, в котором будут игровая зона и зал SimEx 4D”, – сказал Пичугин. Он уточнил, что кроме оборудования “Кронверк-Синема” купила для залов SimEx 4D 10 специальных фильмов.

Фильмы в залах SimEx Iwerks – это не кино, это скорее аттракцион. От 3D-кинотеатров залы SimEx 4D отличается то, что посетители не только видят объемное изображение, но и испытывают дополнительные ощущения. В специальные кресла, установленные на динамической платформе, встроено оборудование, которое обеспечивает зрителям эффект присутствия (порывы ветра, центробежную силу и проч.). Аналогичные кино-аттракционы строятся и в Краснодаре, Казани.

Идея использования обонятельного канала человека для дополнительного воздействия на его эмоциональное состояние во время кинопоказа совсем не нова. Еще в 50-е годы американская киноиндустрия предлагала технологии сопровождения демонстрации кинофильма с распылением запахов – Aroma-Rama и Smell-O-Vision. Предполагалось, что в зрительном зале под сиденьями кресел будут установлены специальные устройства, которые по команде будут излучать необходимый аромат.

Первая практическая кинематографическая система с ароматическим сопровождением **Smell-O-Vision** была изобретена еще в 1959 году швейцарским ученым Хансом Лаубе и финансировалась Майком Тоддом, кстати одним из супругов великой киноактрисы Элизабет Тейлор. До 30 запахов в этой системе подавались по пластиковым трубам непосредственно к каждому зрительному месту кинозала, согласно меткам в фильме. Однако по системе **Smell-O-Vision** был в 1960 году снят всего один фильм **Scent of a Mystery**. В 1981 году кинопродюсер John Waters

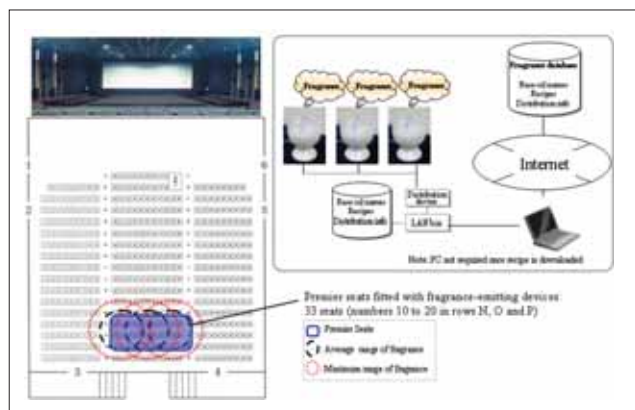


Рис. 1. Кинотеатральная система с ароматическим сопровождением (Япония)

запустил в прокат кинофильм Polyester, в котором также опробовалась технология аромасопровождения, однако в то время она так и не стала популярной.

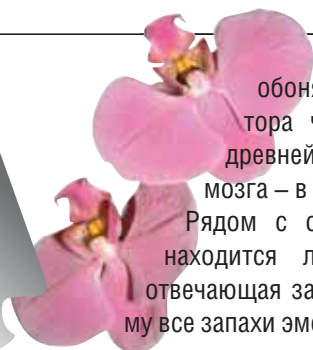
Новое – это забытое старое

Но вот прошло время и мировой интерес вновь вернулся к теме ароматической поддержки кинопоказа на современном технологическом уровне. Уже в ближайшем будущем в японских кинотеатрах можно будет не просто смотреть кинофильмы, но и чувствовать сопровождающие их запахи. Местная телекоммуникационная компания NTT Communications установила в нескольких кинотеатрах г. Осаки сетевое компьютерное оборудование, благодаря которому ключевые сцены фильма будут сопровождаться запахами композиций ароматических масел. Собственно генерация запахов осуществляется с помощью устройства, разработанного другой японской компанией Mirarigo и представляющего собой сферическую емкость, которая подключается к компьютеру через USB-порт. Внутри сферы находятся компоненты 32 ароматических масел, которые и формируют многочисленные запахи. Создание запахов осуществляется с помощью специальной компьютерной программы разработки NTT Communications, которая позволяет синтезировать множество разнообразных ароматов. Впервые ароматическая поддержка была опробована 22 апреля этого года на премьере голливудской киноленты “Новый мир”. В этом фильме, рассказывающем о любви, “пахли” семь ключевых эпизодов. “Генераторы” запаха устанавливались в специальной зоне зрительного зала, а их управление осуществлялось по сети Интернет.

В Берлине также открылся кинотеатр, где фильмы можно не только смотреть, но и «почувствовать», благодаря сенсорным креслам, которыми оборудован кинозал. На премьере зрителям показывали лежащих на льдинах тюленей, при этом из подлокотников сидений в воздух поднимался рыбный аромат. Когда же по сюжету животные соскальзывали с льдин в воду, кресла покачивались и у сидящих возникало ощущение, что они сами находятся на качающейся льдине. Из распылителей, вмонтированных в спинки стоящих впереди кресел, в это время летели мелкие брызги воды. Использованный при этом т.н. многомерный кинопоказ нацелен на то, чтобы у посетителя кинотеатра были задействованы все органы чувств. Выбираемые для показа киносюжеты рассказывают о жизни глубин океанов и тропических лесов. Когда в джунглях с ветки на ветку прыгают обезьяны, а змея начинает шипеть, из подлокотников доносится приторно сладкий цветочный запах. Это создавало максимальный эффект присутствия.

«Впечатления людей от запахов эмоционально окрашены»

Обоняние – это первый дистантный рецептор живых организмов, древнейшее чувство. Коровые центры



обонятельного анализатора человека находятся в древнейшей части головного мозга – в обонятельном мозге. Рядом с обонятельным мозгом находится лимбическая система, отвечающая за наши эмоции. Поэтому все запахи эмоционально окрашены, они приятные или неприятные, «безразличных» запахов не существует.

Видные специалисты в области исследования воздействия запахов на человека Х. Эрлихманн и Л. Бастон по поводу эмоционального действия запахов пишут, что запах может извлекать из памяти давно забытые эмоциональные воспоминания, что некоторые специфические запахи могут влиять на настроение и поведение человека, например, некоторые запахи могут действовать расслабляюще, а некоторые стимулирующе. Далее они указывают, что впечатления людей от запахов могут иметь эффекты, функционально эквивалентные эффектам эмоций, особенно состоянию настроения; запахи влияют на эмоции, эмоции влияют на поведение, т.е. от действия запахов возникает цепь связанных последствий.

«Запахи оказывают влияние многими тонкими способами, которых мы не осознаем»

Помимо связи запахов, памяти и эмоций с давних пор известно, что при помощи запахов можно оказывать прямое воздействие на многие области человеческой жизни. В некоторых странах Востока распространено древнее искусство составления и применения благовоний. Запахи одних благовоний (благовонных палочек) повышают сосредоточенность и внимание, другие способствуют аппетиту и т. д. Запахи способны управлять настроением, работоспособностью. В 1939 году советский физиолог Д.И. Шатенштейн впервые научно обоснованно доказал, что некоторые обонятельные раздражения повышают работоспособность человека.

С помощью запахов можно улучшать настроение, облегчать депрессии, улучшать взаимоотношения между людьми, повышать самооценку человека, влиять на качество сна, повышать сексуальность и многое другое. Создатель стереохимической теории обоняния Дж. Эймур писал: «Без сомнения, обоняние оказывает влияние на нашу жизнь многими тонкими способами, которых мы не осознаем...» Запах снижает эмоциональное и психофизическое напряжение, стимулирует творческую активность человека, повышает его коммуникативные возможности.

В литературе приводится много примеров практического применения запахов, например, упоминается, что еще в 1983 году в диспетчерском зале Киевского аэропорта Борисполь был установлен разработанный Институтом ботаники АН СССР дозатор запахов «Фитон-1», который распылением подобранных ароматов значи-

тельно повысил работоспособность авиадиспетчеров. В настоящее время с помощью запахов повышают производительность труда, снижают количество ошибок программистов и даже планируют понижать уровень хулиганства в метро. В последнее время широко используют ароматизацию служебных, деловых, сервисных и торговых помещений для повышения уровня продаж и создания положительной реакции покупателей на услуги и товары.

Известный немецкий философ и социолог, основоположник формальной социологии Георг Зиммель еще 100 лет назад писал, что, хотя современные люди не могут с помощью обоняния получать так много информации и объективно ее оценивать как некоторые первобытные народы, тем не менее, субъективно люди очень остро реагируют на обонятельные впечатления.

Ту же мысль можно найти в книге «Значение и власть запаха», авторы К. Классен, Д. Хоувз, Э. Синнотт: «Запах – великая сила. Обонятельные ощущения воздействуют на нас на физическом, психологическом и социальном уровнях. Однако в большинстве случаев мы, вдыхая окружающие ароматы, не осознаем в полной мере значения запахов в нашей жизни. И лишь когда по каким-то причинам у нас что-то не в порядке с обонянием, мы начинаем понимать, сколь важно восприятие запахов для психологического комфорта...»

«Запахи тесно связаны с памятью»

Давно известно о тесной связи запахов и памяти, причем, этот факт можно считать и «медицинским», и литературным, поскольку об этом говорят и врачи, и писатели. Еще в 1840 году доктор Берар в «Медицинском Словаре» писал, что обоняние затрагивает воспоминание о прошлом и воображение. Что касается «литературности» этого факта, то в целом ряде художественных произведений авторы на основе своей интуиции и жизненного опыта утверждают о подобной связи.

О том, что запахи быстрее всего пробуждают память, причем не логическую, а эмоциональную, пишет профессор С.В. Рязанцев, вице-президент Российского общества оториноларингологов: «...мимолепный запах может пробудить у человека цепь связанных ассоциаций.»

Утверждение о сильной ассоциативной связи между обонянием и памятью встречается во многих источниках. И этому есть объяснение. Дело в том, что запах нельзя описать, используя какие-либо формальные определения. Визуальные впечатления мы можем описывать, используя геометрические термины (линии, углы, поверхности, тела), цвета, освещение и т. д. Можно достаточно точно формализовать воспринимаемый звук, описав его с помощью физических параметров: длина волны, частота, громкость и прочее. О вкусе мы можем сказать, что он сладкий, кислый, соленый, горький. Что же касается обоняния, то представление о запахах является чисто предметным. Мы не можем охарактеризовать запах, не называя вещества или предмета, которому он

свойственен. Мы говорим о запахе роз или запахе лука, в некоторых случаях мы пытаемся обобщить запахи группы родственных веществ или предметов, говоря о цветочном или фруктовом запахе, запахах кухонных, парфюмерных, лакокрасочных. Невозможно вызвать в воображении какой-либо запах, не связывая его с определенным предметом. В то же самое время, испытывая запах можно воскресить давно забытую память о связанном с ним эпизоде.

В художественной литературе есть множество примеров, в которых персонажи произведений связывают определенные запахи со своими личными воспоминаниями. Один из самых известных литературных эпизодов, связанных с запахами, содержится в романе Марселя Пруста «По направлению к Свану». Рассказчик приходит в гости к матери, которая угощает его бисквитным печеньем «мадлен». Вкус и запах печенья, размоченного в липовом чае, внушают ему удивительный беспричинный восторг, и вслед за этим странным чувством пробуждаются очень яркие воспоминания о детстве в Комбре.

По этому эпизоду процесс обретения воспоминаний через запахи получил название «феномен Пруста» и стал литературным топосом, источником бесконечных индивидуальных вариаций у самых разных авторов.

Ролан Барт в дневнике ловит утраченные воспоминания детства через запахи. У Жорж Санд запах вьюнков всегда вызывает перед взором испанские горы и обочину дороги, где она собирала их в первый раз.

Вечность аромата – излюбленная тема Бодлера, обоняние у Бодлера обретает удушающую силу воспоминания.

Свойству запахов пробуждать память посвящено стихотворение А. Майкова «Емшан». Половецкий хан завоевал Кавказское царство и многие годы правил там в роскоши и богатстве, забыв про свои половецкие степи. Но стоило хану вдохнуть едва уловимый горьковатый аромат присланной ему травы емшан (степная полынь), как на него неудержимо нахлынули воспоминания, и он умчался назад в половецкие степи.

Так что роман П. Зюскинда «Парфюмер» и его недавняя экранизация совсем не одиночный пример художественного произведения с ароматной тематической основой. Но тем не менее именно сюжет кинофильма «Парфюмер» помог в России снова вернуться к теме ароматической поддержки кинопоказа. В сентябре этого года в кинотеатре «Искра DeLuxe» г. Иваново зрители впервые смогли не только посмотреть фильм Парфюмер, но и почувствовать его атмосферу. Во время показа 5 ключевых сцен фильма были ароматизированы при помощи профессионального оборудования. При ароматизации были использованы запахи: «свежая роза», «жасмин», «легкий океанский бриз», «лаванда» и «зеленая трава». Справедливости ради следует отметить, что это уже не первый пример в России и годом ранее в Санкт-Петербурге уже был ароматизирован по-

каз фильма «Чарли и шоколадная фабрика» в кинотеатре «Кронверк Синема».

Многомерные кинотеатры специалисты считают первым шагом на пути к совершенно новому восприятию кино. В Японии, Германии, Австрии и даже в России их премьеры, можно сказать, состоялись. На чувства зрителей здесь воздействуют комплексно: эффектным кинорядом, мощным многоканальным звуком и разнообразными ароматами. Смеяться принято под запах апельсина, грустить – под свежесть мяты. Однако у ароматизированного кинотеатрального показа есть и проблемы. Например в том, что ассоциации, связанные с запахами, весьма и весьма индивидуальны. Запах мокрого после дождя асфальта, например, у одних вызывает приятные детские воспоминания, а у других не ассоциируется ни с чем. Аромат сандалового дерева у некоторых вообще может вызвать неприятные ощущения. В Объединенной Европе и США изучаются проблемы защиты потребителей, связанные с парфюмерной аллергией. Вибрация специальных зрительных кресел тоже пока еще достаточно резковата. В настоящее время в ОАО НИКФИ разрабатываются научно-практические основы многомерного кинопоказа. Сотрудники Института участвуют в обсуждении и совершенствовании проекта специального технического регламента «О безопасности аттракционов и других устройств для развлечения», разработанного с целью создания Федерального закона, предполагающего обязательное лицензирование и процедуру технического регулирования при установке и эксплуатации сложных современных аттракционов. И уже сегодня специалисты ОАО НИКФИ готовы содействовать владельцам кинотеатров в организации тестового кинопоказа фильмов, сопровождаемых аромаэффектами. Во второй части данной публикации будут освещены принципы ароматизированного показа кинофильма «Новый мир», недавно прошедшего в Японии и описаны практические варианты построения систем ароматизации кинопоказа. **п**





Н. Бернштейн
кандидат
технических
наук

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ КИНОЭКРАН

(размышления о расширении применения
кинематографа)



**Бернштейн
Наум Давидович** – кандидат технических наук, специалист в области кинотехники, конструктор. Под его руководством в НИКФИ были разработаны и внедрены в производство различные типы кинокопировальной и кинопроекторной аппаратуры для традиционных видов кинематографа, а также системы трехплёночной кинопанорамы. Наум Давидович возглавлял работы по созданию комплексов оборудования для различных уникальных кинозрелищ, фильмы для которых (созданные при его непосредственном участии) демонстрировались на международных выставках и ярмарках. Он автор ряда изобретений, книг, статей. Сегодня Наум Давидович живет в США.

*Стереоскопия в кино-, фото-,
видеотехнике
С.Н. Рожков, Н.А. Овсянникова*

Введение

Кинематограф, своим появлением и бурным развитием, сам представлял собой угрозу для существования других видов искусства и развлечений, например, для театра, концертов, цирка и др. Однако жизнь показала, что каждый из этих видов нашел свое место в жизни общества и продолжал развиваться. На протяжении более ста лет своего триумфального развития кинематограф сам подвергался угрозам со стороны электронных средств, например, радио, телевидения, кассетного кинематографа, а в настоящее время – компактных дисков. Однако он устоял, его развитие и расцвет продолжают. Вместе с тем необходимо искать и находить способы его усовершенствования и расширения сфер его применения с тем, чтобы более широко использовать его потенциальные возможности. В настоящей статье делается попытка рассмотреть один аспект возможного развития кинематографа путем изменения одного из его основных элементов – *киноэкрана*. Киноэкран с самого рождения кинематографа всегда представлял собой плоскость (или часть цилиндра), установленного вертикально. В истории развития кинематографа не было попыток расположить экран по-другому, например, горизонтально. А ведь подавляющее большинство событий, отражаемых на экране, происходят в горизонтальной плоскости.

Горизонтальный киноэкран

Зритель, наблюдающий киноизображение на вертикальном экране, воспринимает его не совсем точно так, как оно показано на экране. Мозгу зрителя приходится все время корректировать наблюдаемое и дополнять его на основе жизненного опыта. Например: зритель видит на экране – по вертикальной стене течет река (или катится шар). Он прекрасно понимает, что все это происходит в горизонтальной плоскости и что река течет (или шар катится) не то слева направо, не то справа налево, а вовсе не снизу вверх, или сверху вниз. Вместе с тем многочисленные наблюдения (особенно в нестандартных кинозрелищах) показали, что восприятие киноизображения, когда его наблюдение происходит в условиях, близких к натуральным, более полным, более эффективным, более эмоционально сильным, чем при показе в искаженных условиях наблюдения. При этом мозг зрителя освобождается от необходимости корректировать изображение и получает возможность больше сосредоточиться на содержании изображения, на деталях и на эффекте от наблюдения изображения. Рассматривая изображение на горизонтальном экране сверху, зритель как-бы ощущает свое место в происходящих на экране событиях. Он будто находится на смотровой вышке или на вертолете и наблюдает картину, которая происходит на

земле. При наблюдении же изображения на обычном вертикальном киноэкране отсутствует ощущение места зрителя и приходится домысливать то, что зритель узнает о происходящем через нарисованную картину, а не наблюдая за событиями непосредственно. Показ на горизонтальном киноэкране мог бы повысить эмоциональность и эффективность воздействия кинокартины на зрителя. Вопрос об эффективности использования горизонтального киноэкрана для демонстрации художественных фильмов довольно сложный и спорный ввиду большого разнообразия характеров показываемых изображений. Для его решения потребовалось бы проводить длительные и дорогостоящие исследования. Но существует ряд видов кинопоказа, в которых применение горизонтального экрана вместо вертикального позволяет обеспечить условия наблюдения изображения почти такими же, как это происходит в жизни. Такими видами являются, например, кинопоказы спортивных событий: футбола, хоккея, фигурного катания, тенниса и др., а также некоторые другие виды кинопоказов. Показ спортивных фильмов на горизонтальном киноэкране в сочетании с использованием кинематографических методов съемки может значительно улучшить условия наблюдения и повысить эффективность воздействия этих фильмов на зрителей. Более того, это может служить действенным средством для развития указанных видов спорта, для обучения и тренировки участников спортивных событий.

Кинематограф на службе спорта

Известно, что какую колоссальную роль играет спорт в жизни современного общества. В дальнейшем эта роль будет все время возрастать. С развитием техники, внедрением достижений науки (особенно таких, как компьютеры, роботы и т.п.) доля физического труда в деятельности человека будет все меньше и меньше, и без спорта организм человека совсем бы отработился. Поэтому общество уделяет большое внимание развитию многих видов спорта. Кроме того, спорт и спортивная техника представляют большую отрасль народного хозяйства и составляют немалую долю в экономике развитых стран. Средства массовой информации уделяют много внимания спорту в виде информации, хоть и не всегда достаточно выразительной. Правительства и экономика вкладывают большие средства в спортивные дела, строятся большие стадионы и другие спортивные сооружения, организуются матчи, олимпиады и т.п. Однако, по моему мнению, спорт мог бы быть неизмеримо обогащен, если бы более широко, смелее и по-новаторски использовались новейшие достижения науки и техники, в частности кинематографические средства. Для иллюстрации этого приведем пример применительно к очень популярному виду спорта – футболу. Футбол – истинно народная игра, и не только одного народа. В мире – множество любителей этой игры, игроков, болельщиков, в том числе и фанатичных. В этом виде спорта выявляется множество талантов, сверкающих звезд, легендарных атлетов. При этом интерес к этой игре со временем не только не снижается, а все время возрастает. Представим себе, что на самом большом стадионе, например в Париже, происходит матч на первен-

ство мира по футболу с участием самих сильных команд мира и всемирно прославленных мастеров. Матч вызывает огромный интерес во всем мире, особенно в странах, команды которых участвуют в игре. Любители и болельщики приезжают из других стран, тратят большие деньги, чтобы попасть на стадион и посмотреть игру. Но, несмотря на большое количество мест на стадионе, только маленькой доле желающих это удастся. Даже эти «счастливчики» не могут сказать, что они получают полное удовлетворение. В зависимости от полученного места они не могут как следует рассмотреть все эпизоды игры, хотя и пользуются биноклями или другими приборами. В отдельных критических и самых интересных ситуациях они не в состоянии разглядеть игру ввиду того, что все происходит очень быстро. Основная же масса любителей получает лишь жалкие отголоски от картины игры в виде информации через СМИ.

А сейчас помечтаем о другой ситуации. Представим себе, что рядом со стадионом сооружается высокая башня. На верхнем этаже размещается целая киностудия. Там работают многие операторы, которые фиксируют почти все, что происходит во время игры. Одни камеры снимают общую панораму стадиона, включая зрителей, другие нацелены на каждую из двух половин стадиона. Еще аппараты настроены на съемку крупными планами в отдельных местах, где создаются критические ситуации. Имеются также камеры для скоростной съемки с целью последующего анализа в замедленном темпе и т.п. Опытные, талантливые режиссеры дирижируют этим оркестром съемочных камер. Затем из полученного богатства материалов монтируются фильмы разного назначения: для общей аудитории, для профессионалов – спортсменов и тренеров, возможно для отдельных стран и т.д. Эти фильмы с соответствующими высококвалифицированными комментариями демонстрируются в специальных кинотеатрах, не похожих на обычные.

В существующих кинотеатрах фильмы показываются на вертикальных киноэкранах, что совершенно не соответствует условиям рассмотрения этих изображений в условиях стадиона. Если создать условия наблюдения фильмов возможно более близкими к условиям наблюдения в природе, то сила воздействия картины на зрителей неизмеримо возрастет. Поэтому кинотеатр для показа таких фильмов может быть, возможно, более похожим на стадион, с горизонтальным киноэкраном и расположением зрителей амфитеатром, как на стадионе или в цирке. При демонстрации таких фильмов в кинотеатре указанного типа зритель себя почувствует, как будто он витает над стадионом, приближаясь к наиболее интересным местам, где происходят решающие сражения, и удаляясь – для обозрения общей картины. В тех эпизодах, в которых действия проходят очень быстро, можно использовать материалы скоростных съемок и показать их в замедленном темпе. Когда это уместно и интересно, можно показать игроков крупным планом. Мне кажется, что даже некоторые зрители, которые побывали на матче, с большим удовольствием и интересом просмотрят такой фильм, не говоря уже о специалистах, которые могут извлечь из этого большую пользу для повышения своей квалификации. Понятно, что

таких кинотеатров можно построить во многих городах и в разных странах и обслужить огромные аудитории, что говорит об экономической стороне этого дела. Эти кинотеатры могут быть также использованы для показа других фильмов аналогичного характера, например, о хоккее, теннисе, фигурном катании и других играх. Можно также попытаться демонстрировать обычные художественные фильмы и, таким образом, изучать воздействие горизонтального экрана на восприятие картины при различных жанрах фильмов.

На основе изложенной идеи можно рассмотреть, исследовать и реализовать различные варианты и типоразмеры зрелищ, от громадных, обслуживающих большие аудитории, до относительно небольших, многоцелевых стадионов, используемых для спортивных целей в светлое время суток и для различных кинопоказов – в вечерние часы. В некоторых случаях, возможно, целесообразно переоборудовать существующие стадионы. Соответственно могут быть использованы различные форматы кинематографического оборудования. Не подлежит сомнению, что осуществление подобных проектов потребует вложения средств, но можно надеяться на то, что расходы со временем окупятся и с лихвой.

Аквариум

Кроме спортивных фильмов, горизонтальный киноэкран может быть эффективно использован для показа фильмов, содержащих изображения надводного и подводного мира. При наблюдении таких изображений сверху на горизонтальном экране создается намного более сильное впечатление, чем при просмотре на обычном экране. Мы в этом убедились на примере одной небольшой киноустановки, сооруженной

в павильоне СССР на Всемирной выставке «Экспо-70», в 1970-м году в г. Осака, в Японии. В этой установке, круглый киноэкран диаметром 4 метра был утоплен, примерно на столько же, ниже уровня пола. Вокруг ограждения стояли зрители, примерно 25 человек, и смотрели научно-популярный фильм «Путешествие в глубь океана». Это кинозрелище пользовалось огромной популярностью. При больших размерах киноэкрана впечатление еще более усиливается. Можно построить специальное сооружение – аттракцион «Аквариум» с большим горизонтальным киноэкраном, например шириной порядка 15 метров, с расположением зрительских мест в наклонном амфитеатре, подобном цирку. В таком кинотеатре можно обслужить аудиторию порядка 1000–1500 зрителей. Более того, такой аттракцион можно сделать еще более красочным и интересным путем сочетания кинопоказа подводного мира с показом богатства морского дна. Для этого можно использовать перфорированный экран с увеличенным числом отверстий, через который видно как-бы морское дно. А на дне расположить макеты подводных элементов с соответствующими разноцветными подсветками. Когда эти подсветки не горят, элементы не видны. По мере освещения элементов, они как-бы выплывают и становятся видными. Освещением элементов можно управлять автоматически синхронно с кинопоказом подводного мира. Таким образом, можно создать очень интересное, красочное и впечатлительное зрелище.

Можно подумать о других возможных примерах использования горизонтального киноэкрана, например для показа цирковых представлений и т.п. [n](#)

ПОЛНЫЙ СПЕКТР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КИНЕМАТОГРАФА

от HDV до HDCAM

HDCAM CINEALTA HDV

СЪЕМОЧНОЕ, ЗВУКОВОЕ, ОСВЕТИТЕЛЬНОЕ
АКСЕССУАРЫ ДЛЯ КИНОПРОИЗВОДСТВА

Профессиональное видео/аудио оборудование

SYNCHRO pro

Москва: ул. Добровольческая, д.12
Тел./факс: +7(495) 101-4053 (multiline)
E-mail: info@synchro-pro.ru Web: http://www.synchro.ru
С.-Петербург: ООО "ТВ-С" тел.: (812) 715-5676
Бишкек: ООО "Level" тел.: (312) 900-466, 900-467
Алматы: ТОО "КМА" тел.: (3272) 939-344, 938-843



ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СВЕТ-СИГНАЛ БОЛЬШИХ РАЗМЕРОВ для съемочных камер цифрового кинематографа

Перевод
А.С. Блохина
материал SMPTE
февраль-март 2006



Рис. 1. Форматы камер

Введение

Цифровые камеры с размером кадра, соответствующим 35-мм киноплёнке стали доступными примерно с 2003 года и их использование постоянно увеличивается. В настоящее время известны три модели таких камер: Arri D20, Dalsa Origin и Panavision/Sony. Камера Arri имеет матрицу CMOS со схемой управления IC и цветоделительным фильтром Байера. Камеры Dalsa и Panavision содержат ПЗС матрицу в качестве светочувствительного элемента (прибор с зарядовой связью) и отдельные каналы формирования каналов RGB. Все эти камеры предназначены для формирования сигналов, существенно превосходящих параметры высококачественного телевидения (HDTV) и должны стать полезным дополнением к аппаратуре фильмопроизводства. Эти камеры по своим качественным показателям весьма близки к качеству 35-мм кинофильма с кадром 24 мм (H) x 16 мм (V) при разрешении 10 мегапикселей. Важная способность упомянутых преобразователей свет-сигнал – совместимость с существующими киносъёмочными объективами.

Форматы датчика

Рабочее поле зрения твердотельных преобразователей свет-сигнал у обычных видеокамер такое же, как у видиконной камеры формата 2/3-in. Вместе с этим существует много других форматов с соответствующей съёмочной оптикой. Многие из них показаны на рис. 1 наряду с некоторыми форматами 35-мм фильма. Краеугольным камнем 35-мм съёмочной оптики стало понятие старой теории «нормальной» оптики, где фокусное расстояние объектива приблизительно равно диагонали кадра изображения, обеспечивая приблизительный человеческий «угол поля зрения» без учета периферийного видения.

С маленькими преобразователями свет-сигнал должны использоваться короткофокусные съёмочные объективы, чтобы достигнуть такого же эффекта (FOV), как при съёмках 35-мм кинофильма с нормальной оптикой. Авторы здесь ни не подтверждают, ни отклоняют теорию нормальной оптики и определение субъективного угла поля зрения, но отмечают, что, снимая трехмерный мир на плоский кадр с нормальной оптикой, нельзя получить адекватных результатов для объективов с меньшими фокусными расстояниями и малыми раз-

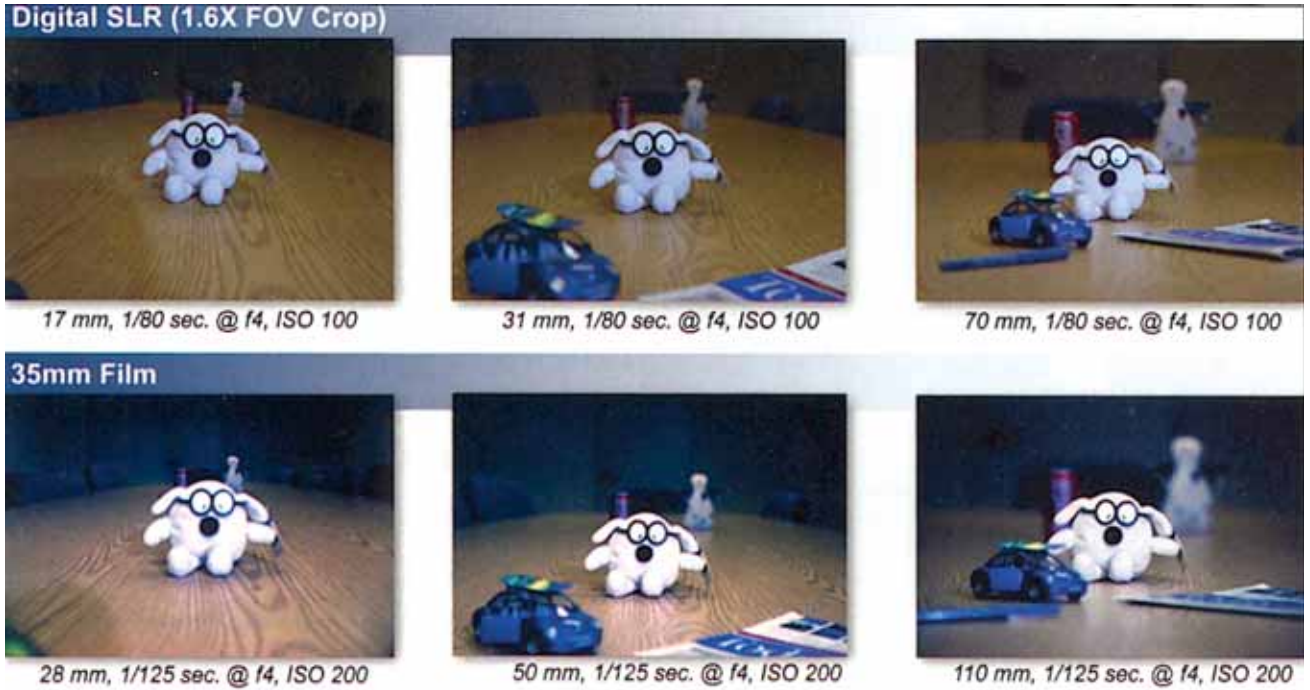


Рис. 3. Перспективы для оптики, отличающейся от нормальной

мерами кадра. Таким образом, перспектива снимка, сделанного с маленьким датчиком и короткофокусной оптикой, отличается от такого же снимка, сделанного с большим форматом. Результат показан на рис. 2. С другой стороны, если необходимо установить фокусное расстояние соответственно 35-мм формату, тогда FOV изменился бы так, как показано в рис. 3.

Тенденции сложности изготовления и размер светочувствительной поверхности

Отказ от маленьких преобразователей свет-сигнал в пользу преобразователей 35-мм формата требовал преодоления серьезных экономических препятствий, связанных с процессом разработки преобразователя. IC промышленность продвигается к все большему размеру с одновременным уменьшением размера пиксела, что обуславливает высокую сложность

технологии. Комбинацию этих тенденций показывает рис. 4. Прогнозы до 1993 года были довольно точны; однако, минимальный размер пиксела уменьшился еще быстрее и сложность IC увеличилась до большей степени, чем предсказано⁴. Диаметр заготовки увеличился от 50 мм в 60-х и 70-х до 300 мм в 2005 году и продолжает расти.

Пространственное разделение пикселей в технологии CMOS обеспечивается при помощи маскирования, тепловой диффузии и ионной имплантации, в отличие от эпитаксиальной технологии.

До недавнего времени CMOS технологии использовали кремниевые пластины размером 100x100 мм, при этом выход готовых изделий не превышал 100 мм². Для получения приборов CMOS с большими размерами использовалась технология «сшивания» отдельных образцов в единую конструкцию.



Рис. 2. Размеры кадров для различных матриц с нормальной оптикой

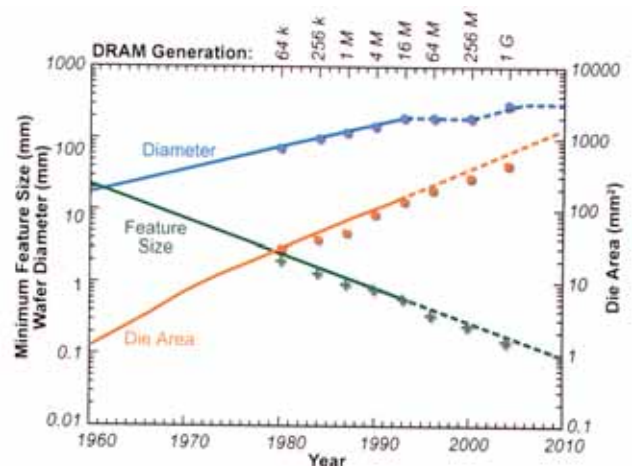


Рис. 4. Размеры матриц в прошлом, настоящем и будущем

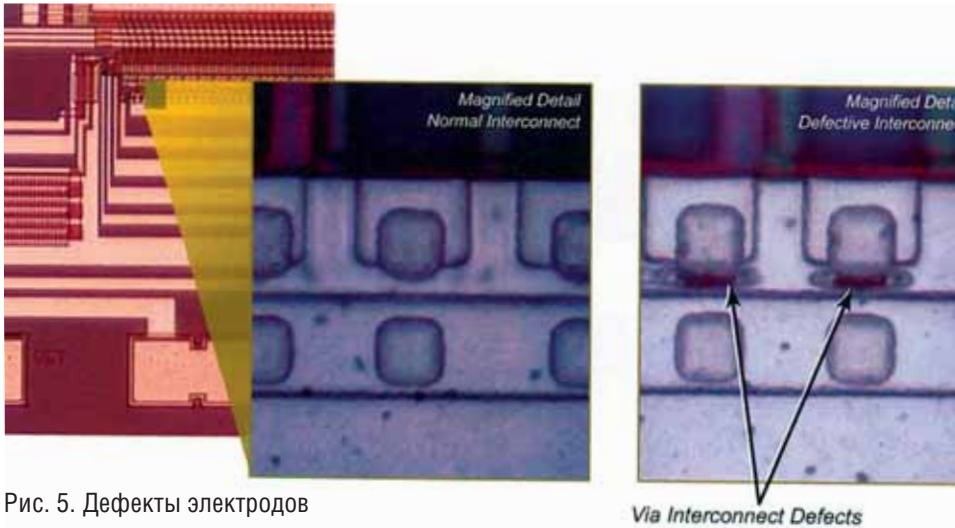


Рис. 5. Дефекты электродов

Технология прибора с зарядовой связью использует эпитаксиальный слой оптического качества непосредственную фотолитографию. Производители только недавно освоили эпитаксиальный слой на 200 мм пластине, до этого использовались пластины диаметром

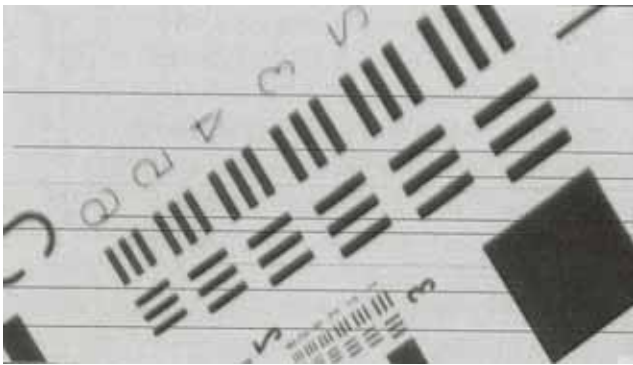


Рис. 6. Изображения с дефектами

150 мм. Так как в технологии преобразователей с зарядовой связью не требуются транзисторы в пределах площади пиксела, становится возможным производить большие устройства. В целом размеры CMOS IC пре-

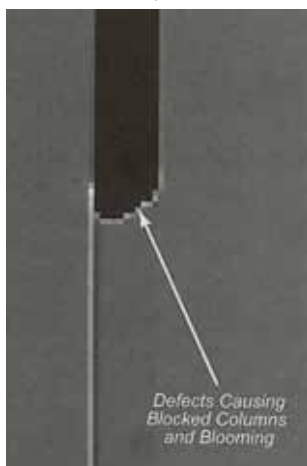


Рис. 7. Цифровые изображения с дефектами ионной имплантации

изделий являются определяющими, как параметры управления для производства продукта.

Плотность дефектов и выход готовой продукции

Большие размеры светочувствительных поверхностей предъявляют требование к уменьшению плотности дефектов в процессе изготовления продукта. Это верно и для прибора с зарядовой связью, и для приборов CMOS. Технология прибора с зарядовой связью типично основана на оптической качественной кремниевой эпитаксии и имеет преимущество в меньшей плотности дефектов перед процессами изготовления CMOS. Для технологии CMOS работа управляющего пикселем транзистора является ключевой. Эту работу обеспечивают чрезвычайно маленькие размеры транзистора и тонкие активные слои. Формирование тонких активных слоев на поверхности оптического кремния сделано методом ионного облучения с последующей тепловой диффузией. При этом получение большого количества продукции без дефектов оказалось трудным для линий изготовления CMOS. Технологические требования к изготовлению приборов с зарядовой связью несколько проще, и поэтому большие выходы годной продукции могут быть более лег-

образователей также увеличились со временем; однако размеры приборов с зарядовой связью увеличились еще быстрее.

Новые разработки требуют существенных инвестиций, таким образом, эволюционный процесс для технологий CMOS IC может быть медленным, в зависимости от требований рынка. При этом плотность дефектов, размер светочувствительной области и выход готовых

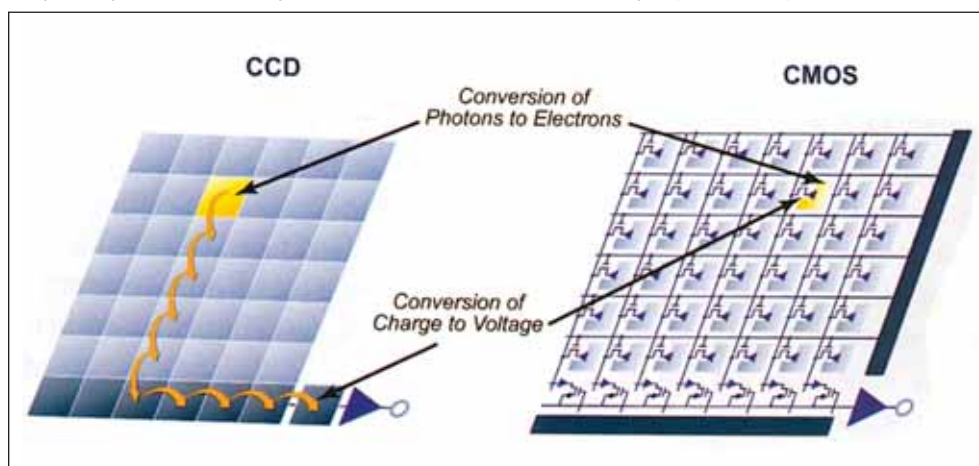


Рис. 8. CCD и CMOS матрицы

ко получены без дефектов. Небольшое количество дефектов прибора с зарядовой связью обычно можно устранить через цифровую обработку изображения, но иногда единственный дефект может вызвать массивное искажение цветопередачи и сделать устройство полностью непригодным, таким образом, плотность дефектов должна быть поддержана на очень низких уровнях. Некоторые примеры дефектов прибора с зарядовой связью показаны на рис. 5, 6, и 7, включая исходный материал (рис. 7) и дефекты изготовления (рис. 5 и 6). Эти дефекты делают устройство непригодным для использования в качестве преобразователей свет-сигнал, даже при том, что указанные устройства в целом работоспособны. Таким образом, плотность дефектов и выход готовой продукции являются основными параметрами предприятия – изготовителя.

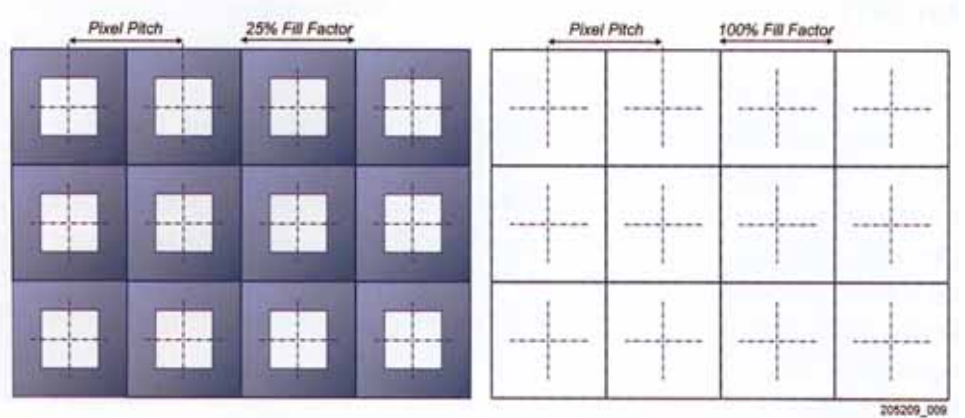


Рис. 9а. Плотность заполнения пикселей

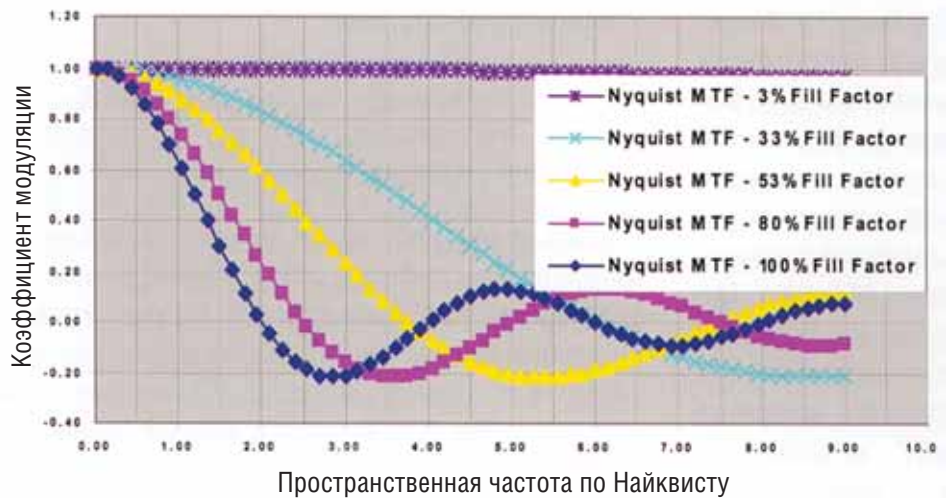


Рис. 9б. Расчетные функции передачи модуляции (MTF)

Прибор с зарядовой связью против CMOS

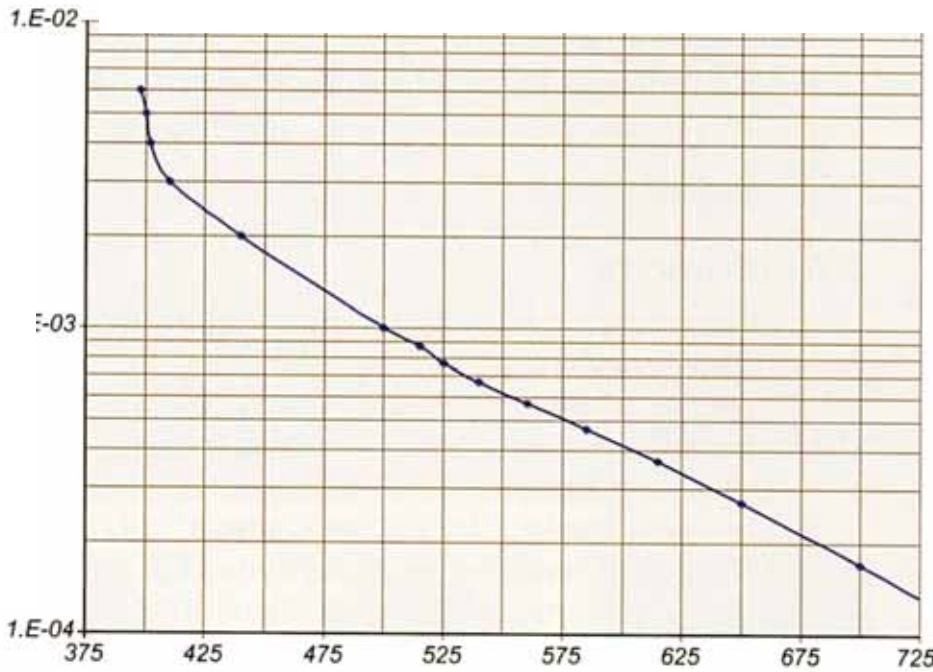
Как показано на рис. 8, и в приборах с зарядовой связью, и в приборах CMOS каждый пиксел является приемником световой энергии. Как правило, весь пиксел может быть чувствительным к освещению, но для некоторых приборов с зарядовой связью и всех приборов CMOS часть светочувствительной области пиксела экранирована электронной схемой и электродами. Отношение светочувствительной области пиксела к его полной площади называется коэффициентом заполнения. Принцип действия приборов с зарядовой связью заключается в переносе электрического заряда, сформированного пикселом на специальную матрицу, с которой сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь. Такие переносы создают снижение эффективности преобразования свет-сигнал. Для приборов CMOS характерно отсутствие переноса заряда, и сигнал напряжения считывается с каждого пиксела. Это создает определенные преимущества в последующей обработке электрического сигнала, сформированного этим типом приборов, однако возникают потери световой энергии за счет снижения коэффициента за-

полнения и соответствующего уменьшения поглощения света каждым пикселом.

Функция передачи модуляции (MTF):

Весьма существенным параметром, определяющим разрешающую способность преобразователя свет-сигнал является коэффициент заполнения пиксела. На рис. 9, а приведены два варианта коэффициента заполнения. На левой части рисунка коэффициент заполнения составляет 25 %, а на правой – 100 %. При низких коэффициентах заполнения снижается световая эффективность преобразователя, а также возникают большие скачки электрических потенциалов при переходе между пикселями.

Коэффициент заполнения в значительной степени определяет контраст изображения другие качественные показатели. Хотя размер пиксела является основным параметром, определяющим разрешающую способность изображения, коэффициент заполнения также определяет полное контрастное отношение на определенной пространственной частоте. Против ожидания, низкий коэффициент заполнения обеспечивает высокий контраст изображения. Рис. 9, б показывает расчетное значение



Длина волны

контраст изображения при одновременном увеличении неравенства яркости от пиксела к пикселу. При высоких коэффициентах заполнения снижаются скачки яркости от пиксела к пикселу, но уменьшается относительный контраст изображения. При этом разрешающая способность изображения, определяемая количеством пикселей, остается неизменной для всех рассмотренных случаев.

Основные отношения, описывающие MTF для прямоугольных или квадратных пикселей, – отношение $\text{SIN}x/x$, полученное из уравнений:

$$\text{MTF}_{\text{geometric}} = \frac{\text{SIN}((\pi/2) * (x_{\text{pixel}} / x_{\text{pitch}})) * (f / f_{\text{Nyquist}})}{\{(\pi/2) * (x_{\text{pixel}} / x_{\text{pitch}}) * (f / f_{\text{Nyquist}})\}}$$

Рис. 10. Коэффициент поглощения света кремнием

контраста на различных пространственных частотах для различных коэффициентов заполнения. По вертикали отложен относительный контраст изображения, по горизонтали – значение пространственной частоты как гармоники критической частоты Найквиста, которая в этом случае является двумя отсчетами или пикселями на каждую пару линии разрешения. Как видно из рис. 9, *b*, при низких коэффициентах заполнения обеспечивается больший

где: x_{pixel} – размер пикселей,
 x_{pitch} – плотность пикселей,
 f – пространственная частота,
 f_{Nyquist} – частичная пространственная частота по Найквисту.

В соответствии с критерием Найквиста наивысшая пространственная частота (критическая частота Найквиста), которая может быть воспроизведена преобразователем свет-сигнал, составляет половину частоты

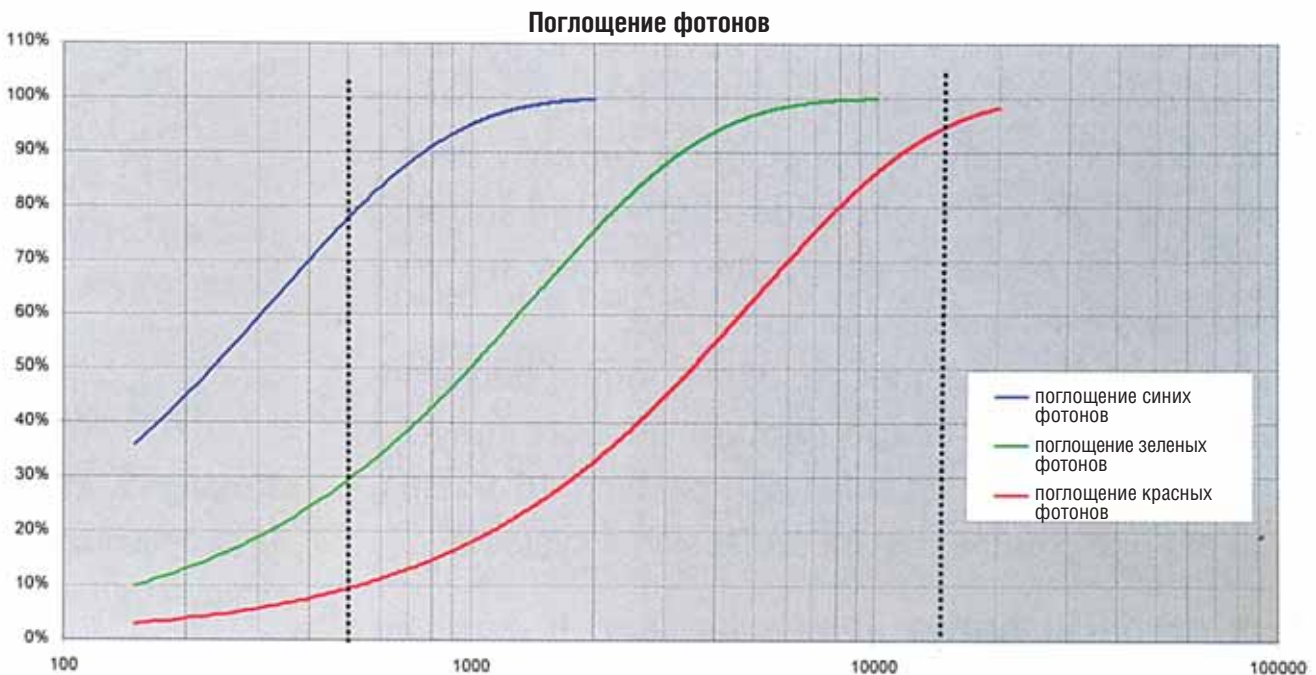


Рис. 11. Квантовая эффективность CCD и CMOS при различных длинах волн

теоремы выборки, или, иными словами, половину от количества пикселей в направлении измерения. Это соответствует гармонике № 1 на рис. 9, б. Превышение критической пространственной частоты создает муаровые эффекты в изображении. Муаровые эффекты всегда нежелательными, и их практически невозможно удалить. Лучше всего исключить их появление вообще. Это возможно при условии оптического ограничения пространственной частоты ниже критической частоты Найквиста.

Для датчиков CMOS весьма важным является поиск компромисса между коэффициентом заполнения и электрическим потенциалом, генерируемом каждым пикселем. Для ПЗС матриц коэффициент заполнения обычно весьма высок.

MTF Квантовая эффективность на больших длинах волн (темно-красный цвет)

Современные приборы с зарядовой связью разрабатываются с использованием высоколегированных подложек для увеличения квантовой эффективности в области больших длин волн (темно-красный свет). Это по существу исключает возможность для соответствующих фотоэлектронов распространяться к смежным пикселям. С другой стороны, приборы CMOS вообще не имеют этого качества. Фотоэлектроны, продуцированные темно-красным излучением, свободно распространяются к смежным пикселям, уменьшая при этом контраст и разрешение в темно-красном свете. Это не является принципиальной проблемой, потому что получающийся результат можно корректировать соответствующими электронными системами.

Коэффициент поглощения

Зависимость коэффициента поглощения от длины волны падающего света для кремния показан на рис. 10. При этом коэффициент поглощения не зависит от технологии, это физическое свойство кремния. Из рис. 10 видно, что коэффициент поглощения изменяется больше чем на порядок от синей области видимого спектра к красной области. Соответствующая квантовая эффективность приборов с ПЗС и CMOS преобразователями показана на рис. 11. Как видно из рис. 11 для CMOS преобразователей квантовая эффективность в красной области спектра весьма невелика. При этом электрический отклик пикселя на воздействие красного света настолько мал, что приходится использовать принцип экстраполяции, чтобы получить информацию об отклике на красный свет. Однако принцип экстраполяции, предполагающий накопление зарядов, может быть эффективно применен только для неподвижных объектов, например для цифровой фотографии. Это является специфической особенностью для CMOS преобразователей с тонкими активными слоями.

С другой стороны, приборы с зарядовой связью имеют очень низкий электрический отклик в синей области

спектра, так как соответствующие фотоны поглощаются многочисленными кремниевыми слоями. Возможно уменьшение толщины кремниевых слоев, однако это является серьезной технологической проблемой, и выход готовых изделий при уменьшении толщины слоев снижается.

Заключение

В настоящее время продолжается совершенствование приборов с зарядовой связью и для технологий CMOS, что, вероятно, приведет к конвергенции этих технологий. Сегодня уже исследуются возможности использования эпитаксиального кремния при изготовлении CMOS. Это обуславливает возможность производства кремниевой основы с эпитаксиальными слоями при диаметре заготовки до 300 мм. Такие размеры заготовки обеспечивают увеличение выхода готовых изделий. Большинство заводов, производящих приборы с зарядовой связью также имеют линии изготовления CMOS. Эти заводы экспериментируют со смешанными процессами технологии для получения изделий, сочетающих в себе преимущества приборов с зарядовой связью и CMOS при одновременном исключении недостатков этих технологий.

Одним из путей совершенствовании указанных технологий является использование освещения со стороны подложки. Освещаемая область при этом находится очень близко к активной поверхности пикселя, при этом практически исключаются оптические потери. Если смотреть на этот тип устройства, апертура кажется абсолютно черной с практически отсутствующим отражением света, что очень значительно увеличивает квантовую эффективность (QE). Используемые сегодня технологии обеспечивают QE значительно ниже 50 % из-за экранирования поверхностных структур электродами. Освещение задней стороны обеспечивает почти 100 %-й QE, позволяя существенно расширить динамический диапазон каждого пикселя. В не слишком отдаленном будущем преобразователи, соответствующие форматам 35 мм киноплёнки с освещением с задней стороны, позволят получить динамический диапазон, соответствующий $16f$ – т.е. 16 фотографическим диафрагмам при умеренной стоимости изделий. **п**

Литература

1. Photsonics DRC-655 product, 500fps sensor, <http://www.photsonics.com/DRC655.htm>.
 2. Fairchild Imaging CCD-565 product, 9216x9216 pixel framing sensor, http://www.fairchildimaging.com/main/ccd_area_595.htm.
 3. Lockheed Martin, "4K D-Cine Camera," 142nd SMPTE Technical Conference, Pasadena, CA, Nov. 2000. Lockheed Martin, "4K D-Cine Camera," 144th SMPTE Technical Conference, Pasadena, CA, Nov. 2002.
 4. W. M. Bullis, "Evolution of Silicon Materials Characterization: Lessons Learned for Improved Manufacturing," *Semiconductor Science and Technology*, 8 (6S):777-787, Institute of Physics, U.K., 1993.
 5. R. Bredthauer, *Semiconductor Technology Associates*. Unpublished private communication, Sept. 2005.
- Motion Imaging Journal, February/March 2006, p. 59 – 66.

РАСЦЕНКИ НА РЕКЛАМУ В ЖУРНАЛЕ "МИР ТЕХНИКИ КИНО"

Стоимость рекламы:

НА ОБЛОЖКЕ

2-я сторона – **56 000** руб. 3-я сторона – **42 000** руб. 4-я сторона – **56 000** руб.

ПОЛОСА ВНУТРИ ЖУРНАЛА – **42 000**

Скидки, если реклама оплачивается сразу:

в 4 номера – **30 %**, в 3 номера – **25 %**, в 2 номера – **20 %**

1/2 полосы - **23 800** руб., 1/4 - **11 200** руб., 1/8 - **7000** руб., 1/16 - **3360** руб.

Для размещения рекламы просим прислать гарантийное письмо с Вашими реквизитами по адресу:

kevin@paradiz.ru или 125167, Москва, Ленинградский проспект, д. 47, ОАО НИКФИ,

офис 920А, на основании которого будет выставлен счёт.

ERNEMANN®

КИНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ

**ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ КИНОТЕАТРОВ**

МОНТАЖ И СЕРВИСНОЕ
ОБСЛУЖИВАНИЕ

**ОСОБЫЕ
УСЛОВИЯ:**

ПОСТАВКА
ОБОРУДОВАНИЯ
В ЛИЗИНГ

ВОССТАНОВЛЕННОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ
SECOND HAND

СЕРВИСНАЯ
СЛУЖБА

www.ernemann.com
www.ernemann-russia.ru
ernemann@mail.ru

Тел.: (+7095) 250 7271
Факс: (+7095) 740 0129



**По вопросам приобретения журнала
обращайтесь в редакцию по телефону
795-02-97, 795-02-99**



Оформить заявку
Вы можете по e-mail: kevin@paradiz.ru
с указанием почтового адреса и количества
приобретаемых экземпляров.
Заказанные Вами журналы высылаются
наложенным платежом.



О съемке обратной стороны Луны

с помощью межпланетной автоматической станции Луна-3

А. Стрельникова
кандидат технических наук,
член Союза кинематографистов РФ

С давних времен человечество стремилось узнать мир, познать Вселенную, изучить звездное небо. Некоторые открытия были сделаны раньше, но мы знаем, что путь этот в то время был тернистым и некоторые гении-таланты сложили на нем свои головы.

К настоящему времени с развитием науки и техники ученым-астрономам представились большие возможности сделать много открытий в изучении звездного неба и космоса.

Теперь нам хорошо известно, что мы живем в Солнечной системе, что вокруг Солнца вращается девять планет, и каждая из них имеет свои спутники.

Мы также знаем, что одной из девяти солнечных планет является наша Земля и что единственным спутником Земли является Луна, которую мы все наблюдаем на звездном небе.

Луна – самый большой спутник по отношению к планете, вокруг которой он вращается, – Земле. Известно, что диаметр Луны немного больше четверти земного и составляет 3480 км. Известно также, что площадь поверхности Луны составляет $\frac{1}{4}$ площади суши Земли, известны и другие характеристики Луны, составлена ее карта. Основные параметры Луны определены с помощью современной аппаратуры и мощных телескопов. Период обращения Луны вокруг Земли совпадает с периодом ее вращения вокруг собственной оси, так что она всегда повернута к Земле только одной стороной, которую мы и наблюдаем в ясные ночи. Карта Луны сначала была составлена лишь для видимой с Земли стороны Луны (видимого полушария). О невидимой части Луны нам до последнего времени ничего не было известно. Поэтому у ученых (и не только у них) всегда был большой интерес узнать, какова же, как выглядит обратная сторона Луны.

И только в наше время, в период бурного развития науки и техники, космонавтики, возникли возможности заглянуть на невидимую сторону Луны.

Впервые в Советском Союзе была составлена специальная Лунная программа. По этой программе к Луне были направлены 24 межпланетные автоматические станции (МАС). Осуществление этой программы началось в 1959 г. Все автоматические станции стартовали с космодрома Байконур.

Первая межпланетная автоматическая станция (МАС) Луна-1 стартовала с Земли 2 января 1959 г. Она пролетела над поверхностью Луны на расстоянии 5000 км.

МАС Луна-2 стартовала к Луне 14 сентября 1959 г. и достигла ее поверхности. Впервые в мире советская станция оказалась на поверхности Луны. Это было большим достижением в мире.

А уже через месяц, 4 октября 1959 г., ракетой-носителем «Восток» с космодрома Байконур была запущена МАС Луна-3, которой было суждено войти в историю человечества как искусственный спутник Луны, который впервые в мире осуществил фотографирование обратной стороны Луны. Оно было произведено 7 октября 1959 г. и началось в 6 ч. 30 мин по московскому времени.

Межпланетная автоматическая станция Луна-3 по своим габаритам являлась небольшим спутником, но разработка всего этого комплекса потребовала очень большого объема научных и технических сил, в основном – сотрудниками ВНИИ телевидения (г. Ленинград) и других организаций. При этом на общую разработку комплекса Луна-3 было выделено очень мало времени – всего полтора года.

Для внутреннего и внешнего оснащения МАС Луна-3 потребовалась разработка совершенно нового оборудо-

дования – радиотехнической, телеметрической, фототелеметрической аппаратуры, аппаратуры ориентации станции относительно Солнца и Луны, солнечных батарей, комплекса научной аппаратуры и т.д.

Была разработана новая сложная бортовая фототелесъемочная камера и бортовая фототелевизионная передающая система под общим названием «Енисей».

А на Земле информацию с борта МАС Луна-3 принимала приемная аппаратура «Енисей I» и «Енисей II», также разработанная специально для этой станции.

Подробно об оборудовании, применявшемся при фотографировании обратной стороны Луны, можно познакомиться в Интернете в сообщениях В. Ефимова «Луна-3».

Однако ни в этих, ни в других сообщениях не отражен важный компонент общей системы «Енисей» – процесс химико-фотографической обработки пленки в малогабаритном устройстве. Целью настоящей статьи является ликвидация этого пробела в информации и детально описать процесс обработки пленки, учитывая те жесткие условия, в которые были поставлены разработчики процесса.

На проблеме разработки и использования МАС Луна-3 мы остановимся более подробно, поскольку наша работа в НИКФИ имела к ней непосредственное отношение. Разработка МАС Луна-3 включала в себя три равнозначных этапа:

I. Разработка бортовой фототелевизионной камеры «Енисей»,

II. Разработка процесса химико-фотографической обработки фотопленки и малогабаритного устройства для его осуществления,

III. Разработка бортовой телепередающей аппаратуры «Енисей-I» и аппаратуры «Енисей-II» для приема информации на Земле с пленки, обработанной на борту Луны-3.

Все три этих этапа по значимости действительно равны, ибо отказ на любом из них не позволил бы достичь желаемой цели – получения фотографий обратной стороны Луны. Но на всех этих этапах, связанных между собой, аппаратура сработала точно по заданной программе, и был получен превосходный, уникальный результат.

В соответствии с техническим заданием заказчика пленка на борту МАС Луна-3 должна была обрабатываться с учетом следующих обстоятельств:

1. наличие невесомости и значительной вибрации;

2. температура обрабатывающих растворов могла колебаться в диапазоне $\pm 15^\circ\text{C}$ (на Земле температура проявителя при обработке черно-белой пленки поддерживается с точностью $0,3^\circ\text{C}$); в дальнейшем оказалось, что температура на станции Луна-3 могла повышаться до 50 и даже 70°C ;

3. отсутствие условий для сушки пленки после ее химико-фотографической обработки;

4. объем, выделенный для устройства обработки пленки, не позволял использовать оборудование, вмещающее более 1 л раствора;

5. посадка МАС Луна-3 на Землю не предусматривалась.

Исходя из указанных выше весьма жестких условий и технического задания, а также учитывая весьма ограниченную площадь для размещения прибора для химико-фотографической обработки пленки на борту МАС Луна-3, его разработка потребовала огромных усилий, большого объема научных исследований и конструкторской деятельности.

Эта работа, относящаяся ко II этапу, была поручена Научно-исследовательскому кинофотоинституту (НИКФИ). Она проводилась в лаборатории фотовоспроизведения под общим руководством профессора Н.И. Кириллова.

Непосредственным разработчиком и автором процесса химико-фотографической обработки пленки для его применения на борту МАС в состоянии невесомости являлась автор настоящей статьи, а малогабаритное устройство для обработки пленки в этом процессе было сконструировано и изготовлено Е.М. Фельдшеровым.

Работа выполнялась по договору, согласованному и утвержденному с ВНИИ телевидения в Ленинграде. В соответствии с этим договором исполнители работы в НИКФИ представляли ежеквартальные отчеты и проводили промежуточные испытания в Ленинграде на макете Луны-3, который там находился. Срок работы, как отмечалось выше, составлял полтора года. По окончании сро-

Стрельникова Александра Павловна

Александра Павловна Стрельникова — член Союза кинематографистов СССР, одна из ведущих специалистов в области химико-фотографической обработки отечественных черно-белых и цветных галогенсеребряных светочувствительных материалов.

Трудовую деятельность Александра Павловна начала в 1948 г. на фабрике массовой печати цветных фильмов в должности инженера-химика. После учебы в аспирантуре НИКФИ под руководством талантливого ученого, доктора технических наук проф. Николая Ивановича Кириллова в 1955 г. защитила кандидатскую диссертацию. Вся последующая деятельность Александры Павловны в НИКФИ и далее в ГосНИИХИМФотопроекте в должности руководителя лаборатории была связана с исследованием и созданием процессов химико-фотографической обработки.

К важным и актуальным работам Александры Павловны относятся: создание технологии раздельной обработки фонограммы на цветных отечественных, а также позитивных кинопленках, процесс обработки фотопленки на борту космической станции Луна-3. Уникальность данной работы заключалась в том, что предложенная ею проявляюще-фиксирующая композиция позволила получить в условиях невесомости и 30°-го перепада температур изображение поверхности обратной стороны Луны.

Александра Павловна Стрельникова активно участвовала в работе научно-общественных организаций, являясь в течение ряда лет членом научно-технических и ученых советов НИКФИ, ГосНИИХИМФотопроекта, секции АН СССР, жюри при Госкино. Она выступала с лекциями и докладами на международных конференциях в Москве (ГосНИИХИМФотопроект, Дом Оптики), Ленинграде, на Орво (ГДР), в Софии, на фирме Дебри (Париж), на многих кинопредприятиях Союза в системе Госкино и Гостелерадио. По результатам проведенных ею работ опубликовано около 40 статей, получено 8 авторских свидетельств на изобретения. Она и сегодня в строю.

ка работа была сдана полностью при высокой оценке. Во ВНИИ телевидения результаты были подтверждены и проверены при штатном полете МАС Луна-3. Этот этап работы был включен в общий комплекс под названием «Енисей».

Разработка химико-фотографической композиции для обработки аэрофотоплёнки на борту МАС Луна-3

Как отмечалось выше, задача, поставленная перед НИКФИ, была очень сложной и требовала большой научно-исследовательской проработки вопроса. Перед началом исследований было необходимо выбрать исходный материал, на котором будут проводиться исследования и который мог бы быть рекомендован для использования на борту МАС Луна-3.

К началу работ в НИКФИ был разработан ряд плёнок, которые могли бы быть использованы для космических работ и которые вполне могли быть использованы по фотографическим показателям, но не соответствовали по физико-механическим показателям, учитывая, что в техническом задании температура в МАС могла колебаться не только в пределах ± 15 °С, но и повышаться до 50 и 70 °С. Была использована высокозадубленная аэрофотоплёнка АШ-1 на лавсановой основе. На ней мы и проводили все свои исследования.

Переходя непосредственно к разработке процесса химико-фотографической обработки аэрофотоплёнки на борту МАС Луна-3 в состоянии невесомости, мы пред-

варительно изучили состояние проблемы обработки фотоматериалов в различных процессах, существовавших в то время в практике кинематографии. Однако существующие процессы даже в мини-вариантах не могли быть использованы в очень ограниченном объеме, который выделялся для целей обработки плёнки в МАС Луна-3, да и по температурным режимам.

Наши предварительные исследования показали, что наиболее целесообразным было взять за основу однованный процесс, т.е. такой, в котором стадия проявления и стадия фиксирования осуществляются в одной ванне.

Потребовалось проведение значительных научно-исследовательских работ, чтобы создать такую композицию, в которой обработанная в космосе плёнка отвечала всем сенситометрическим показателям и позволяла получить на Земле хорошее фотографическое изображение.

Главной целью этой композиции было добиться, чтобы стадия проявления протекала быстрее стадии фиксирования. Это означает, что на экспонированных участках аэрофотоплёнки галогениды серебра быстрее превращались в кристаллы металлического серебра, и только после этого неэкспонированные кристаллы галогенида серебра превращались в растворимые тиосульфатсеребряные комплексы (плёнка осветлялась).

В результате проведенных экспериментов была разработана такая композиция проявляюще-фиксирующего раствора, в которой в качестве проявляющего вещества использовалась композиция фенидон-гидрохинона. Поскольку комбинированный фенидон-гидрохиноновый проявитель может давать повышенный уровень фотографической вуали, для ее подавления в композицию вводилось активное антивуалирующее вещество – 1-фенил-5-меркаптотетразол. В качестве фиксирующего (осветляющего) вещества вводился обычный тиосульфат натрия в соответствующей концентрации. Образовавшиеся при этом растворимые тиосульфатносеребряные комплексы переходили в раствор, как более тяжелые. В разработанную композицию вводились и другие компоненты.

Особенно необходимо отметить, что требования работы в невесомости и стойкости к высоким вибрациям на борту МАС Луна-3 определили необходимость придания разработанной композиции проявляюще-фиксирующего раствора вязкой структуры. В качестве вязкого компонента в композицию добавлялась карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) – продукт гидролиза хлопка, вернее – его отходов. Это вещество вводилось в проявляюще-фиксирующую композицию в виде геля с тем, чтобы его концентрация в готовом растворе составляла 20 %.

Карбоксиметилцеллюлоза характеризуется следующими ценными качествами:

- совершенно нейтральный продукт, не вступает в химическую реакцию ни с одним компонентом проявляюще-фиксирующего раствора;

- вязкость этого раствора очень стабильна, при длительном хранении раствора держится на одном уровне;

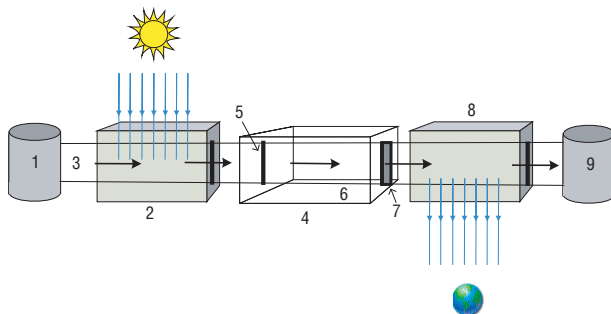


Рис. 1. Общая схема фотографической части МАС Луна-3
Обозначения:

1 – кассета с заряженной аэрофотоплёнкой формата 35 мм; 2 – бортовая фототелевизионная камера «Енисей»; 3 – аэрофотоплёнка 35 мм, перфорированная, на лавсановой основе; 4 – малогабаритное устройство для химико-фотографической обработки аэрофотоплёнки; 5 – входная щель в малогабаритном устройстве для входа в него аэрофотоплёнки; 6 – проявляюще-фиксирующий раствор; 7 – выходная щель в малогабаритном устройстве с наклеенными на неё пластинками из мягкой эластичной резины; 8 – бортовая телепередающая аппаратура «Енисей-1»; 9 – приемная кассета для перемотки отработанной аэрофотоплёнки.

- защищает компоненты используемого раствора от разрушения и окисления, что особенно важно, когда приготовленные растворы по каким-либо причинам могут значительное время не использоваться;

- придает вязкому раствору такие адгезионные свойства, которые положительно сказываются на его использовании в малогабаритном устройстве для обработки аэрофотоплёнки.

Таким образом, в лаборатории фотовоспроизведения НИКФИ под руководством автора данной статьи была разработана уникальная проявляюще-фиксирующая композиция, которая выдержала практические испытания при работе МАС Луна-3 в космосе в состоянии невесомости при сильной вибрации и вошла в историю фотографирования обратной стороны Луны, составив определяющую часть общего радиоконтакта МАС Луна-3 – «Енисей».

Технологический процесс на борту МАС Луна-3 при фотографировании обратной стороны Луны

Как уже упоминалось, межпланетная автоматическая станция Луна-3 приблизилась к Луне 7 октября и вышла на окололунную орбиту, обогнув ее с обратной, невидимой с Земли, стороны. По команде с Земли была включена бортовая фототелевизионная камера «Енисей» и началось фотографирование лунной поверхности. Первый сеанс съемки продолжался с 6.30 до 7.10 по московскому времени. Камера «Енисей», как сообщает в Интернете В. Ефимов, была снабжена двумя объективами, которые могли работать в «быстром» и «медленном» режимах (фокусные расстояния 200 и 500 мм). Фотографирование началось, когда Луна-3 находилась на наиболее близком от поверхности Луны расстоянии – от 65 200 до 68 400 км.



Рис. 2. Видимая сторона Луны

В кассете (1) находилась перфорированная аэрофотоплёнка на лавсановой основе 35-мм формата (2), которая с помощью лентопротяжного тракта поступала в съёмочную камеру «Енисей» по команде с Земли перед началом фотографирования.

Из съёмочной камеры отснятая плёнка сразу же поступала в малогабаритное устройство (4) для обработки в вязком проявляюще-фиксирующем растворе.

Малогабаритное устройство было изготовлено из нержавеющей стали и представляло собой параллелепипед, на узких сторонах которого имелись две щели, по одной с каждой стороны. В первую щель (5) поступала экспонированная плёнка. Внутри щель была обклеена эластичной мягкой резиной, предотвращающей поверхность плёнки от случайных повреждений и, одновременно, от проникновения раствора за пределы устройства. Вторая щель (7), находящаяся на противоположной стороне, была обклеена резиной еще и снаружи, чтобы при выходе плёнки из проявляющего устройства с ее обеих сторон были сняты возможные капли проявляюще-фиксирующего раствора.

Продолжительность проявления аэрофотоплёнки в вязком растворе составляла 3 мин, а продолжительность всего цикла съемки-обработки – 40 мин.

Обработанная плёнка (негатив) отправлялась в накопитель и оставалась там до определенного времени, пока не поступала команда с Земли на ее продвижение в бортовую телепередающую систему «Енисей».

Когда МАС Луна-3 приблизилась к Земле на наиболее близкое расстояние (около 470 000 км), была включена бортовая система «Енисей» (8), которая начала передавать изображение на специальную наземную аппаратуру «Енисей-1» и «Енисей-2», находящуюся на наземных измерительных пунктах (НИП) в Крыму и на Камчатке.

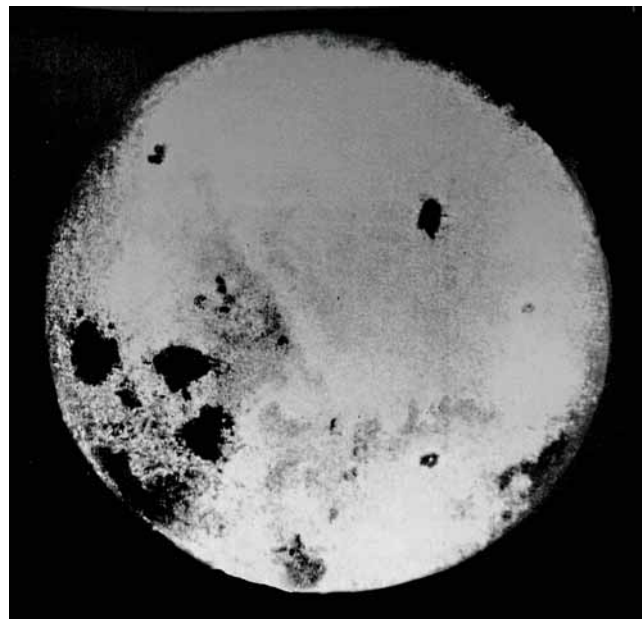
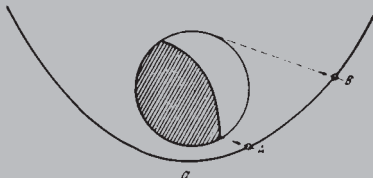


Рис. 3. Первая в мире фотография обратной стороны Луны, переданная на Землю 7 октября 1959 г. с МАС Луна-3



Экипаж космического корабля «Союз-14» – командир экипажа П.Р. Попович и бортиженер Ю.П. Артюхин



Геометрические условия съемки, соответствующие начальному периоду функционирования спутника

«Новые достижения в освоении космоса»

Экипаж корабля «Союз-14» произвел стыковку с орбитальной научной станцией «Салют-3» и после перехода на нее в течение 15 суток выполнял обширную программу научно-технических исследований. После завершения программы работ на борту пилотируемой научной станции космонавты подготовили транспортный корабль «Союз-14» к возвращению на Землю. В спускаемый аппарат корабля были перенесены материалы научных исследований, кассеты с фото- и киноплёнкой, бортовые журналы.

Журнал ТКТ № 11, 1974, стр. 88



Внешний вид камеры

Как только запустили передающую систему, на НИП прибыли академики С.П. Королев, М.В. Келдыш, Е.Б. Черток, придававшие этому событию исключительно большое значение.

Полученные на аппаратуре «Енисей-1» и «Енисей-2» исходные фотографические материалы передавались в НИКФИ, где печатались фотографии, и весь материал передавался заказчику.

На рис. 3 приведена первая в мире фотография обратной стороны Луны. Таким образом, люди ее впервые увидели.

Оказалось, что поверхность обратной стороны Луны сильно отличается от видимой нами. На обратной стороне очень мало темных пятен (которые условно называются «морями»), и основную часть ее поверхности составляет сплошной «материк». Видимая же сторона Луны (видимое полушарие), хорошо изучено учеными, имеет и светлые материки, и темные «морские» участки поверхности (рис. 2).

Резкое отличие видимой части поверхности Луны от невидимой является крупнейшим открытием в мире, требующим дальнейшего серьезного изучения и объяснения. Это открытие целиком обязано возможности фотографирования обратной стороны Луны.

На основании фотографий обратной стороны Луны, полученных с помощью МАС Луна-3, а также имеющихся ранее фотографий ее видимой части на Пулковской обсерватории был составлен полный атлас всей ее поверхности.

МАС Луна-3 впоследствии вошла в зону действия Земли, совершила 11 оборотов вокруг нее и прекратила свое существование. К этому времени она уже не могла фотографировать, поскольку ее энергетический ресурс был полностью исчерпан.

В начале статьи упоминалось, что в Советском Союзе на Луну стартовали 24 станции, мы коснулись только первых трех.

Остальные МАС серии Луна рассмотрены в обзорной статье Г. Бурба, где отмечены удачные и неудачные полеты советских станций. Кроме того, в этой статье приводятся все результаты полетов американских станций и даже планы запуска на Луну в 2020–2030 годах японских и китайских станций с космонавтами на борту.

В заключение считаю своим долгом отметить, что советские ученые и конструкторы в кратчайшее время сумели разработать сложнейшее оборудование под общим названием «Енисей», установленное на борту МАС Луна-3. Оно позволило произвести телефотосъемку, химико-фотографическую обработку аэрофотоплёнки и передачу полученного изображения на Землю. Все это происходило в космосе, в состоянии невесомости и при сильной вибрации.

В результате впервые в мире была получена фотография обратной стороны Луны. И в эту уникальную работу внес свою лепту Научно-исследовательский кинофотоинститут (НИКФИ).[n](#)

Литература

1. В. Ефимов. Сообщения в Интернете – Луна-3.
2. Г. Бурба. «Вокруг света». 2003. №8.