

ISSN: 1991-3400

Мир Кино

ТЕХНИКИ

АПРЕЛЬ–ИЮНЬ 12-2009

ИНДУСТРИЯ 3D НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

ЦИФРОВАЯ
ЦВЕТНАЯ
ТРЕХМЕРНАЯ
ГОЛОГРАММА

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
КИНОСЪЁМОЧНОЙ
АППАРАТУРЫ

№12 СОДЕРЖАНИЕ



Новости, обзоры

Выставки, конференции 2

Вопросы теории

Ю.А. Индлин
Электроакустическая частотная характеристика кинозалов 4

В.Г. Комар, С.И. Озеров
О перспективах создания безочковых систем кинотеатрального кинематографа с трёхмерным изображением 8

Доклады

Г.И. Рожкова, Н.Н. Васильева, С.Н. Рожков
Фузионные способности человека и возможности расширения диапазона параллакса в стереофильмах без нагрузки на зрительную систему 11

С.Б. Одинокоев
Цифровая цветная трёхмерная голограмма 16

Б.П. Булаев
Параметрический усилитель экранного параллакса 18



Г.Н. Усков
Направления развития 3D индустрии и основные проблемы распространения стереотехнологий 21

Технологии

Б.Г. Турухано, Н. Турухано, В.В. Добырн, В.А. Ванин, Е.Г. Кормин, В.Е. Кормин, Ю.М. Лавров
Исследование и разработка измерительных голографических наносистем линейных и угловых перемещений 24

Н.Г. Власов, С.А. Сторожкин
О разработке современных интерферометров 28

О.Н. Раев
Математическое моделирование киносъёмочной аппаратуры (К 55-летию МКБК) 30

Мастер-класс, семинары, новости SMPTE, отзывы

А.С. Мелкумов
Стереосъёмка в цифровом формате 35

О.В. Андреева
Терминологический словарь по прикладной голографии 38

Страницы истории кино

Н.А. Майоров
Кругограмные системы кинематографа 43



Подписной индекс Роспечать: № 81923

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

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

Руководитель проекта:
Костылев Олег Юрьевич

Главный редактор:
Индлин Юрий Александрович, к.т.н.

Выпускающий редактор:
Захарова Тамара Владимировна

Арт-директор, оформление обложки:
Шишкин Владимир Геннадьевич

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

Отпечатано в ООО «Типография ПАРАДИЗ»
Объём 6 п.л. Заказ № 0577.
Тираж 1500 экземпляров.

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

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

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



Выставки, конференции

■ С 18 по 21 марта 2009 года в Москве в Центре международной торговли на Красной Пресне прошла 6-я специализированная выставка услуг кино- и телепроизводства. В первый день открытия был проведён (при поддержке Гильдии продюсеров России) круглый стол «Антикризисные стратегии финансирования кинопроизводства». Провёл круглый стол Алексей Сохнев – начальник экспертно-аналитического отдела Министерства культуры РФ.

В этот же день на выставке прошло награждение победителей Конкурса на лучшую научную статью среди молодых специалистов в 2008 году в журнале «Мир Техники Кино». О награждении конкурсантов читайте на странице 3 журнала. Конкурс на лучшую научно-техническую статью среди молодых специалистов в журнале «Мир Техники Кино» будет ежегодным. С условиями Конкурса на 2009 год можно ознакомиться на сайте журнала www.mtk-magazine.ru.

19 марта в рамках выставки были проведены:

- конференция «Цифровые технологии для кинопроизводства» (Организаторы: Apple, Panasonic, ProVideoSystem);
- мастер-классы для операторов и режиссёров, которые провели ведущие специалисты отрасли – оператор-постановщик Сергей Васильев, режиссёр монтажа, эксперт по продуктам Apple Андрей Назаров, сертифицированные тренеры, специалисты по решениям на платформе Apple Дмитрий Ларионов, Кирилл Воронин и Олег Фоминов, продюсер и режиссёр Евгений Курицин;
- конференция «Цифровое кинопроизводство».

На выставке состоялась презентация компании «Конвейеръ». Два года назад под руководством Дэвида Шуфутинского и Игоря Кабищева была создана компания

«Конвейеръ» и начато строительство современной кинокопировальной фабрики. В январе 2009 года введена в эксплуатацию Лаборатория «Конвейеръ», предназначенная для изготовления тиражей фильмокопий. Лаборатория оснащена высокопроизводительным оборудованием из США и Европы и обеспечивает работу со всеми видами киноплёнок Kodak, Agfa, Fuji. Мощности используемого оборудования позволяют изготавливать в день до 150 фильмокопий высочайшего качества. В составе компании «Конвейеръ» имеются подразделения по изготовлению субтитров и переработке отработанных фильмокопий и киноматериалов.

Мы поздравляем наших друзей и коллег с началом производственной деятельности и надеемся, что их огромный опыт в сочетании с современным технологическим оборудованием позволят возродить массовое кинокопировальное производство и сохранить в отечественном прокате старое доброе плёночное кино.

■ 23–24 апреля в помещении Московского киноvideоинститута состоялась научно-техническая конференция «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других отраслях». Цель конференции – обмен информацией, комплексный анализ и выработка путей совершенствования отечественного 3D кинематографа на всех этапах кинематографического процесса (от киносъёмки до кинопоказа) и на всех этапах производства кинотехники (от научных исследований до выпуска продукции: как кинотехники, так и контента). На конференции были рассмотрены вопросы применения объёмных изображений в медицине, учебных процессах, тренажёрах, защитных системах. Некоторые доклады читайте на страницах 11–22 этого номера журнала.



Закончился конкурс на лучшую научную статью в журнале «МИР ТЕХНИКИ КИНО» в 2008 году

19 февраля 2009 г. прошло заседание Организационного комитета Конкурса на лучшую научную статью в журнале.

В состав Организационного комитета вошли:

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1. Костылев Олег Юрьевич | генеральный директор ООО «ИПП «Куна», руководитель проекта; |
| 2. Волков Александр Сергеевич | Министерство культуры РФ; |
| 3. Тимофеев Александр Евгеньевич | к.т.н., генеральный директор ОАО «НИКФИ»; |
| 4. Комар Виктор Григорьевич | д.т.н., профессор, ОАО «НИКФИ»; |
| 5. Гарипов Вадим Каримович | д.т.н., профессор МГПИ, кафедра «Вычислительные системы и сети»; |
| 6. Сакварелидзе Майя Александровна | д.х.н., профессор, зам. директора МКВИ |
| 7. Одинокоев Сергей Борисович | к.т.н., зав. лаб. «Оптико-голографические системы» |
| | МГТУ им. Н.Э. Баумана; |
| 8. Барский Иосиф Давидович | к.т.н., генеральный директор ОАО «Кинотехника»; |
| 9. Ванин Валерий Александрович | к.т.н., генеральный директор ОАО «Мособлзнак»; |
| 10. Захарова Тамара Владимировна | выпускающий редактор журнала МТК; |
| 11. Алексеева Наталья Васильевна | к.т.н., учёный секретарь ОАО «НИКФИ». |

Благодарим спонсоров конкурса: ООО «ИПП «Куна» (генеральный директор Костылев О.Ю.), ОАО «Кинотехника» (генеральный директор Барский И.Д.), ОАО «НИКФИ» (генеральный директор Тимофеев А.Е.)

На конкурс было подано 9 статей:

- В. Лесничий, А. Кулешов, А. Златов, студенты СПбГУ ИТМО «Голография – реалии и перспективы»
- А. Васильев, к.т.н., МГПИ «Динамические изображения в моделях виртуальной реальности цифрового кино»
- С. Озеров, окончил МГУ, аспирант ОАО «НИКФИ» «Интегральное стереокино по трём снятым ракурсам»
- Л. Паутова, к.т.н., ОАО «НИКФИ» «Безочковая система показа объёмных многокурсовых кино-изображений»
- С. Сторожкин, Н. Власов, МГТУ «Станкин» «О разработке современных интерферометров»
- Е. Усович, студент МГТУ им. Н.Э. Баумана «Разработка и исследование метода оптической системы получения мультиплексных голограмм в системах архивной оптико-голографической памяти для хранения фото- и видеoinформации»
- А. Гончаров, студент МГТУ им. Н.Э. Баумана «Голографический литограф для изготовления фотошаблонов, используемых при производстве широкоформатных дисплеев»
- М. Хорунжий, аспирант СПбГУКиТ «Анализ искажений цветопередачи экранных изображений посредством пространственного приложения модели LAB»
- А. Харлов, к.т.н., МКВИ «Свойства тонких плёнок латексов, модифицированных желатиной»

ПЕРВОЕ МЕСТО – статья Усовича Е. (МГТУ им. Н.Э. Баумана); **ВТОРОЕ МЕСТО** – статья Паутовой Л. и др. (ОАО «НИКФИ»); **2 ТРЕТЬИХ МЕСТА** – статьи Озерова С. (аспирант ОАО «НИКФИ») и Харлова А. (МКВИ); остальные участники конкурса награждены почётными грамотами.



Поздравляем ребят с победой!
Надеемся, что в будущем году молодых конкурсантов будет больше.

Награждение победителей конкурса прошло на 6-ой международной выставке услуг для кино- и телепроизводства (г. Москва)



Ю.А. Индлин, к.т.н.,
ОАО «НИКФИ»

ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКАЯ ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КИНОЗАЛОВ

Рассматривается электроакустическая частотная характеристика (ЭЧХ) в кинозалах, анализируется влияние на форму ЭЧХ различных факторов (потери в экране, направленность излучения громкоговорителя, размеры зала, влажность воздуха).

■ Нормирование ЭЧХ стандартом ISO 2969 [1] (кривая X) позволило в значительной мере идентифицировать звучание в зале перезаписи и в кинотеатре, хотя для субъективной идентичности звучания потребовалось ввести коррекцию кривой X на объём зала.

В домашнем кинозале все четыре упомянутых фактора оказывают непредсказуемое влияние на форму ЭЧХ, так что звучание в нём вряд ли имеет много общего с тем, что создавалось звукооператором в зале перезаписи.

Причина, затрудняющая идентификацию звучаний в залах, – в том, что измерение ЭЧХ проводится по общему (прямому плюс реверберационному) звуку, в то время как определяющий идентичность тембр звучания создаётся лишь прямым звуком. Поэтому предлагается перейти к измерению ЭЧХ по прямому звуку, что позволит избежать влияния реверберационной составляющей звукового поля на форму ЭЧХ и установить более непосредственную связь тембра звучания с формой ЭЧХ.

Тракт звуковоспроизведения кинозала принято делить на цепь А и цепь В. Цепь А включает звукочитающее устройство, предварительный усилитель и эквалайзер. Цепь В (или оконечная цепь) включает микшерный пульт, эквалайзер, усилитель мощности, громкоговоритель и зал.

Электроакустическая частотная характеристика (ЭЧХ) в данной точке зала есть зависимость от частоты уровня звукового давления в этой точке. Определение ЭЧХ для всей слушательской зоны требует нескольких измерений в различных, достаточно удалённых от экрана точках, и соответствующего усреднения результатов.

Появление звукового кино привело к необходимости согласовать характеристики контрольных залов, где готовились фонограммы кинофильмов, и залов кинотеатров, где эти фонограммы прослушивались зрителями. Основной такой характеристикой являлась ЭЧХ.

Идеально было бы иметь горизонтальную ЭЧХ. Однако действительность в тридцатые годы прошлого столетия была далека от идеала. Технические параметры громкоговорителей и усилителей в залах сильно различались, а кроме того, оптический тракт имел существенные ограничения на высоких частотах.

В конце концов, в 1938 году в целях стандартизации было решено ориентироваться на наихудшие характеристики, и родилась Академическая кривая, которая также известна как кривая N [1], горизонтальная в диапазоне 100–1600 Гц со спадом 10 дБ на частоте 5 кГц и 18 дБ на частоте 8 кГц (рис. 1).

В последующие годы громкоговорители и электроника улучшали свои параметры, однако это не приводило к заметному прогрессу в звуковоспроизведении оптической фонограммы, поскольку отказ от кривой N привёл к появлению шипения плёнки, которое эта кривая маскировала.

И лишь введение шумоподавления в технологию производства фонограммы (различные системы «Долби») позволило отказаться от кривой N в пользу кривой X (рис. 1). Эта кривая, закреплённая стандартом ISO 2969 [1], была горизонтальной до 2 кГц и затем спадала со скоростью 3 дБ/окт до 6 дБ на частоте 8 кГц. Она должна была устанавливаться в залах перезаписи и в кинотеатрах, гарантируя идентичность тембров звучания.

Полной идентичности, однако, не получалось. И связано это, в первую очередь, с объёмом зала.

Выяснилось, что для субъективной идентичности тембров звучания в больших помещениях спад ЭЧХ на высоких частотах должен быть несколько большим, а в малых помещениях несколько меньшим, чем устанавливалось кривой X. Поэтому в стандарт ISO 2969 для кривой X

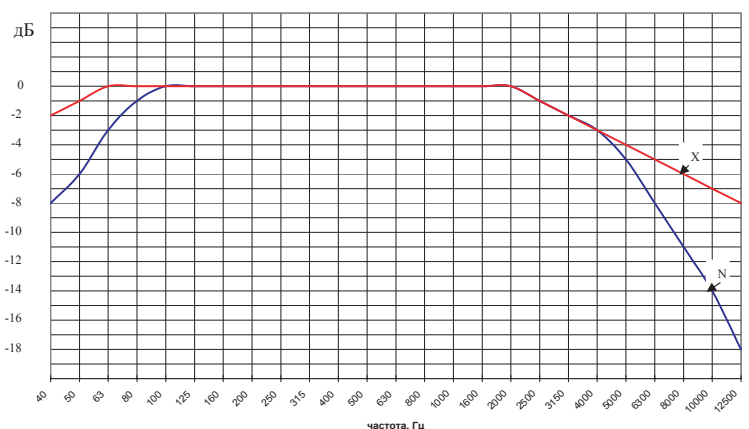


Рис. 1. Частотные кривые N и X цепи В

были введены приблизительные коррекции на размеры зала (табл. 1).

Таблица 1. Приблизительные корректирующие поправки на размер помещения в дБ

Частота, кГц	Число мест					
	30	150	500	1000	1500	2000
2,0	0	0	0	0	0	-1.0
4,0	1,0	0.5	0	-0.5	-1.0	-1.5
8,0	2.0	1.5	0	-1.0	-2.0	-3.0

Эти поправки нарушают логическую стройность концепции идентичности тембров звучания при идентичности ЭЧХ и нуждаются в объяснении.

Разумным объяснением представляется то обстоятельство, что тембр звучания определяется слухом по прямому звуку, а измерения ЭЧХ проводятся по общему звуку (прямой звук плюс реверберационная составляющая звукового поля).

Оценим эту реверберационную составляющую в залах разного объёма.

Известно, что время реверберации T определяется формулой [2], которую мы представим в удобной для нашего анализа форме:

$$T = \frac{0.163V/S}{4\mu V/S - \ln(1-\alpha)}, \quad (1)$$

где: V - объём помещения, м³,

S - общая площадь поверхностей помещения, м²,

μ - показатель затухания звука в воздухе, м⁻¹,

α - средний коэффициент поглощения звука поверхностями помещения.

Коэффициент α в частотном диапазоне 2–8 кГц без большой ошибки можно полагать независимым от частоты. Показатель затухания μ в не слишком сухом воздухе, напротив, увеличивается с ростом частоты. Таким образом, характер частотной зависимости времени реверберации зависит от того, какое из двух слагаемых знаменателя формулы (1) преобладает; заметим, что $-\ln(1-\alpha)$ – положительное число.

Первое слагаемое является произведением показателя затухания на длину среднего свободного пробега звука в помещении ($4V/S$). Отсюда следует, что в малом помещении, где мала величина $4V/S$, второе слагаемое преобладает, и время реверберации не должно зависеть от частоты при постоянстве коэффициента α , а в большом помещении, напротив, преобладает первое слагаемое, и частотная зависимость μ должна проявляться в уменьшении времени реверберации на высоких частотах.

Это качественное рассуждение нуждается в количественной интерпретации.

Для этого были построены компьютерные модели залов с числом мест 30, 500 и 2000 при характеристическом объёме 10 м³/место и при независимом от частоты коэффициенте α , обеспечивающим оптимальное, соглас-

но требованиям Долби и ТНХ [3], время реверберации на средних частотах. Рассчитанные зависимости времени реверберации от частоты при средней влажности (60%) представлены на рис. 2–4.

Если оценивать величину спада времени реверберации коэффициентом высокочастотной реверберации $k_8 = T(8\text{кГц})/T(1\text{кГц})$, то из рис. 2–4 следует:

для зала № 1 (300 м³) $k_8 = 0.875$;

для зала № 2 (5000 м³) $k_8 = 0.744$;

для зала № 3 (20000 м³) $k_8 = 0.648$.

Таким образом, с увеличением объёма зала уменьшается коэффициент k_8 , что сопровождается ослаблением высокочастотной реверберационной составляющей звукового поля, которое приводит к дополнительному спаду ЭЧХ (табл. 1) при субъективно идентичном тембре звучания.

Показатель затухания μ , а вслед за ним и коэффициент k_8 , зависят от влажности воздуха. Расчёт коэффициента k_8 при различной влажности приведён в табл. 2.

Таблица 2. Коэффициент $k_8 = T(8)/T(1)$ относительного уменьшения времени реверберации на частоте 8 кГц в залах разного объёма в зависимости от влажности воздуха

Влажность, %	Число мест / объём в м ³		
	30/300	500/5000	2000/20000
30	0.780	0.590	0.484
40	0.810	0.654	0.554
60	0.875	0.744	0.648
80	0.891	0.790	0.713
90	0.906	0.821	0.738

Из таблицы 2 видно, что наибольшее относительное снижение времени высокочастотной реверберации за счёт воздушных потерь звука (более чем в два раза относительно средних частот) наблюдается при сухом воздухе (30%) в большом помещении (20000 м³). При повышении влажности потери снижаются. Это объясняет известные случаи, когда заполнение зала слушателями приводило к повышению времени реверберации на высоких частотах: уменьшение воздушных потерь за счёт повышения влажности слушателями преобладало над дополнительными потерями от поглощения звука телами слушателей.

Объём зала и влажность воздуха – не единственные факторы, оказывающие влияние на ЭЧХ. Особую роль играют высокочастотные потери в перфорированном экране (в профессиональном кино громкоговорители устанавливаются за перфорированным экраном). Практически именно они определяют форму кривой X на высоких частотах. В частности, измерения, проведённые ранее в НИКФИ, дали величину потерь около 6 дБ на 8 кГц. Правда, в хороших современных экранах можно добиться потерь около 3 дБ на 8 кГц, но следует иметь в виду, что уже при небольшом увеличении зазора между экраном и громкоговорителем потери заметно увеличиваются. Так что кривая X может служить неплохой иллюстрацией к

потерям в экране. Потери в экране при некотором запасе в мощности усилителя и громкоговорителя легко корректируются с помощью эквалайзеров, не оказывая влияния на реверберационную составляющую звукового поля.

Более серьёзное влияние оказывает характеристика направленности громкоговорителя. В середине прошло-

го века направленность громкоговорителей, как правило, обострялась с ростом частоты. Это приводило к ослаблению реверберационной составляющей на высоких частотах и увеличивало спад в ЭЧХ. В профессиональном кинематографе эта проблема в настоящее время решена повсеместным использованием излучателей «постоянной направленности», направленность излучения которых в рассматриваемой частотной области (2–8 кГц) практически не зависит от частоты.

Таким образом, из четырёх факторов, которые могут оказать влияние на форму ЭЧХ (потери в экране, направленность излучения громкоговорителям, объём зала и влажность воздуха), лишь два последних действительно оказывают влияние на ЭЧХ в профессиональном кино.

В домашнем кино, напротив, все упомянутые факторы оказывают существенное влияние на ЭЧХ.

Домашние кинозалы обычно размещаются в жилых комнатах, акустические свойства которых далеки от требований ТНХ: время реверберации в жилых комнатах составляет величины порядка 0.5–0.6 с, т.е. больше, чем в обычном зале перезаписи, притом, что жилые комнаты обычно меньше залов перезаписи. Фактор объёма в акустически неприспособленных помещениях превращается в фактор объёма и реверберации. Предсказать его влияние на ЭЧХ без акустических измерений невозможно. Впрочем, с ростом благосостояния части наших сограждан появляется всё больше домашних кинозалов, под которые выделяются отдельные помещения, проектируемые в соответствии с требованиями ТНХ. В этом случае, на форму ЭЧХ должен оказывать влияние фактор объёма в соответствии с табл. 1 (при пересчёте числа мест на объём зала и

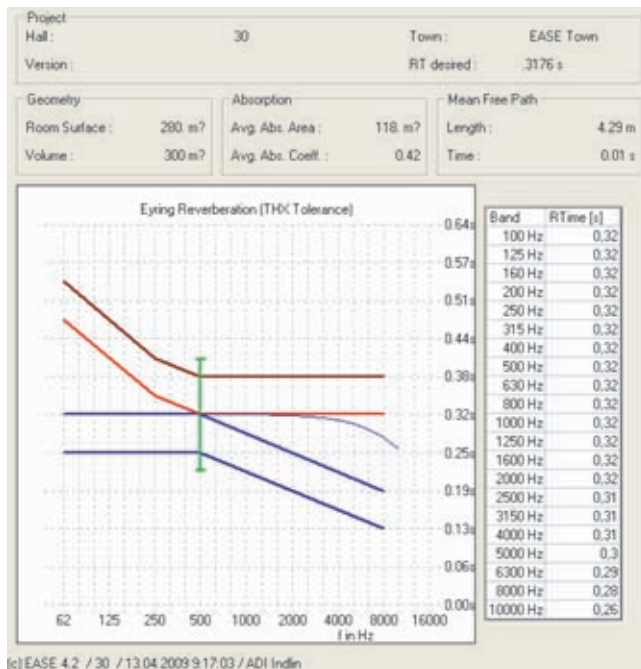


Рис. 2. Частотная характеристика времени реверберации в зале объёмом 300 м³ при влажности воздуха 60% (голубая кривая); ломаные линии ограничивают рекомендуемый ТНХ диапазон

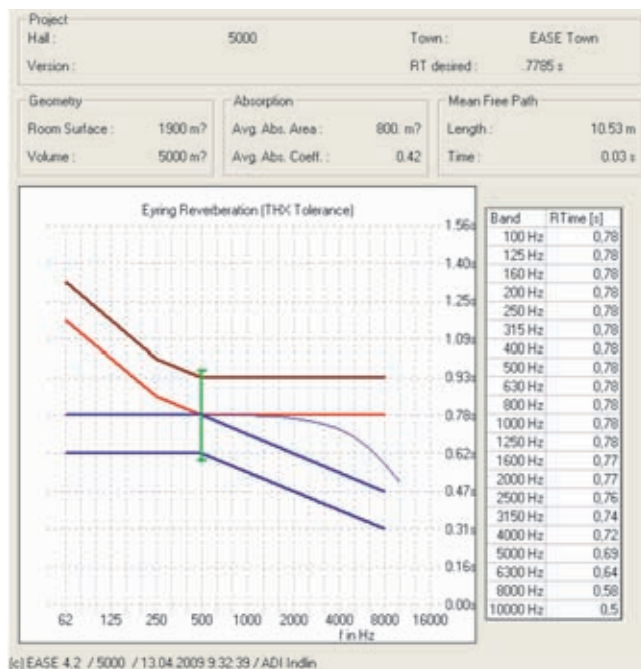


Рис. 3. Частотная характеристика времени реверберации в зале объёмом 5000 м³ при влажности воздуха 60% (голубая кривая); ломаные линии ограничивают рекомендуемый ТНХ диапазон

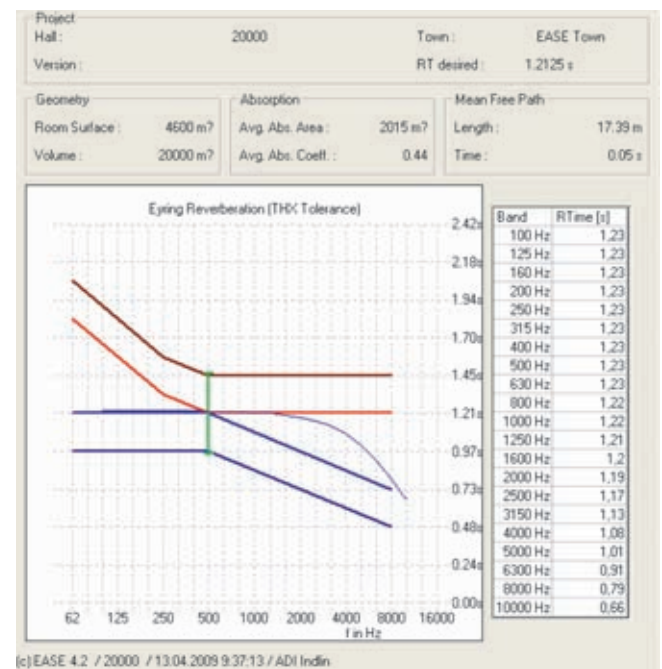


Рис. 4. Частотная характеристика времени реверберации в зале объёмом 20000 м³ при влажности воздуха 60% (голубая кривая); ломаные линии ограничивают рекомендуемый ТНХ диапазон

разумной экстраполяцией поправок на меньшие объёмы). Это согласуется с кривой X для помещений с объёмом менее 150 м³ (Small-Room X-Curve), горизонтальной до 2 кГц с последующим спадом со скоростью 1.5 дБ/окт [4].

Громкоговорители домашних кинозалов не закрываются экраном, и поэтому на их излучение не оказывают влияние потери в экране, формирующие высокочастотную часть кривой X в профессиональном кино. К чему это может привести, рассказывал Т. Холман [5]: «Я принимал непосредственное участие в сведении фонограммы фильма "Indiana Jones and the Temple of Doom", множество раз слышал эту фонограмму в нашем зале перезаписи. С нетерпением я ждал выхода лазерного диска – и вот, наконец, принёс его домой. Какое же получилось впечатление от видеовеерсии? На моей домашней системе, которую я совершенствовал несколько лет, фонограмма фильма, которая в студии звучала прекрасно, вдруг оказалась слишком пронзительной и резкой. Верхние частоты были задраны, свистящие звуки речи излишне подчёркивались, тихие звуки вроде шагов и шуршания одежды почему-то выпячивались на передний план. Я отнёс диск в тонстудию и сравнил его с мастер-лентой. В тонстудии они звучали одинаково. Я понял, что не в порядке моя домашняя система».

Если в профессиональном кино проблема направленности излучения громкоговорителей практически решена с помощью систем постоянной направленности, то что в этом отношении происходит в домашнем кино – понять невозможно. Информация о характеристиках направленности бытовых громкоговорителей полностью отсутствует, независимо от того, какое гордое имя они имеют (hi-fi, high-end, THX или какое-то другое) и во сколько раз они дороже хороших профессиональных громкоговорителей. Исключения мне не известны.

Возможно, причина в том, что по направленности излучения бытовые громкоговорители недалеко ушли от достижений середины прошлого века, когда обострение направленности с частотой было обычным явлением. Оправданием этому могла бы служить ограниченная в быту область размещения слушателей, если бы никак не нормируемое обострение направленности не добавляло неопределённости в выборе формы ЭЧХ для домашнего кино.

Из сказанного следует, что спектр звучания в домашнем кино имеет вряд ли много общего со спектром звучания, который создавал звукооператор в зале перезаписи.

Нельзя сказать, чтобы это не беспокоило специалистов. Например, в составе THX сертифицированной аппаратуры домашнего кино предусматривается частотная коррекция «ге-еф», основное назначение которой – компенсировать отсутствие потерь в экране. Другое решение – вводить такую коррекцию при переводе оригинала (master) для кино в оригинал для домашнего просмотра. Число DVD с такой «подготовленной» для домашнего кино фонограммой довольно значительно: они выходят с пометкой о том, что «ге-еф» не требуется. Однако при любом из этих решений проблемы влияния на ЭЧХ акустических свойств помещения и направленности излучения громкоговорителей не затрагиваются.

Предложение

Итак, размеры и акустические свойства помещения, как в профессиональном, так и в домашнем кино оказывают большое влияние на форму ЭЧХ при идентичном спектре звучания. Но, как уже упоминалось выше, спектр звучания определяется прямым звуком. Так может быть не усложнять себе задачу, пытаясь идентифицировать спектр звучания с помощью ЭЧХ, измеряемой по общему звуку, а проводить измерения непосредственно прямого звука?

При отнесении ЭЧХ к прямому звуку естественным образом отпадает влияние на неё размеров и акустических свойств помещения, а также направленности излучения громкоговорителей в домашнем кино. Если в зале перезаписи и зале кинотеатра (профессионального или домашнего) будут устанавливаться нормативные ЭЧХ по прямому звуку, то можно ожидать идентичности спектров звучания вне зависимости от размеров помещения и его акустических свойств.

В настоящее время такое предложение не требует особого усложнения процедуры измерений. Современные компьютерные измерительные программы (например, EASERA) позволяют производить оценку как общего звука, так и прямого звука в одном измерении. Конечно, выделить приемлемое временное окно для оценки низкочастотной части спектра прямого звука не получится. Однако в этом нет необходимости, поскольку в низкочастотной части спектра не действует ни один из перечисленных выше факторов, и измерения могут проводиться для общего звука.

Заключение

Стандарт на электроакустическую частотную характеристику оконечного тракта в залах перезаписи и кинозалах подразумевает измерение ЭЧХ общего сигнала, образуемого как прямым звуком, отвечающим за тембр звучания, так и реверберационным звуком, создающим гулкость звучания. Это приводит к зависимости ЭЧХ от размеров и акустических свойств помещений при идентичности спектров звучания. Переход к измерению и стандартизации ЭЧХ прямого звука позволит освободить ЭЧХ от этой зависимости и установить более прямую связь между тембром звучания и формой электроакустической частотной характеристики. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO 2969:1987 Cinematography – B-chain electro-acoustic response of motion-picture control rooms and indoor theatres – Specifications and measurements.
2. Анерт В., Стеффен Ф. Техника звукоусиления. Москва, 2003.
3. Holman T. Room acoustics of motion picture theaters. National Association of Theatre Owners, Encyclopedia, 1984.
4. Florian B. Learning from History: Cinema Sound and EQ Curves – June, 2002.
5. Таранов С. Стандарты THX или Домашний кинотеатр не хуже, чем в Голливуде. «АудиоМагазин» № 2 (3), 1995.



О ПЕРСПЕКТИВАХ СОЗДАНИЯ БЕЗОЧКОВЫХ СИСТЕМ кинотеатрального кинематографа с трёхмерным изображением

В.Г. Комар, д.т.н.,
профессор,
С.И. Озеров,
аспирант,
ОАО «НИКФИ»

■ В настоящее время в мире наблюдается усиление интереса к театральному кинематографу с трёхмерным изображением. Это связано с тем, что цифровые технологии позволяют теперь создавать более совершенные системы этого прогрессивного вида кинематографа. Есть все основания считать, что начавшееся возрождение стереоскопического кинематографа продолжится длительное время. В связи с этим специалисты ОАО «НИКФИ» уже приступили к разработке предложений по международной стандартизации ряда технических параметров стереоскопического кинематографа.

Однако, не следует забывать, что стереоскопический кинематограф даже в отдалённой перспективе не сможет доминировать в кинематографии из-за очень серьёзного экологического недостатка – нарушения естественного соотношения между важнейшими зрительными признаками: диспаратность, конвергенция и аккомодация.

Чтобы уменьшить зрительное напряжение, современные 3D кинокартины в цифровом формате снимаются в США преимущественно с малыми значениями параллакса на экране. При этом, конечно, в значительной мере теряются выразительные возможности стереоскопического кино из-за уменьшения глубины передаваемого пространства.

Есть все основания видеть перспективу развития кинематографа с трёхмерным изображением в голографии. Технологические способы создания кинотеатральной системы голографического кинематографа теоретически обоснованы и экспериментально проверены. Важно, что съёмки больших сцен для голографических фильмов смогут производиться при обычном свете многокурсным методом с последующим переводом изображения на голографическую киноплёнку.

Голографический кинематограф не имеет экологического недостатка стереоскопического кино. В голографии изображение, как известно, реально возникает в пространстве и является как бы световой скульптурой реального объекта и поэтому не вызывает никакого зрительного напряжения в отличие от стереоскопического изображения. Голографическое изображение может быть удивительно реалистичным.

В конце 90-х годов НИКФИ с участием Корейского института науки и технологии (Южная Корея, г. Сеул) экспериментально исследовал процесс съёмки и проекции многокурсных киноизображений [1]. Интересно, что при этом исследовался и процесс многокурсной проекции на голографический экран.

В 2008 году под руководством Ю.Н. Овечкиса была разработана и изготовлена лабораторная установка многостереопарной стереоскопической съёмки и проекции, основанная на применении нескольких цифровых съёмочных камер и цифровых проекторов, а также мелкоструктурного растра, состоящего из цилиндрических линз [2].

Дальнейшее развитие этой системы следует направить на её совершенствование для обеспечения возможности применения не только в качестве киноаттракциона, средства информации и рекламы, но и как кинотеатральной системы. Для этого имеются следующие возможности:

- кардинальное упрощение съёмочного устройства: использование вместо множества камер только одной двухкурсной цифровой камеры с получением изображений промежуточных ракурсов путём компьютерного синтеза;
- применение более совершенных экранов: растровых с переменным фокусным расстоянием линз или же голографических экранов.

В 2008 г. авторами статьи была разработана компьютерная программа получения множества цветных изображений объекта в промежуточных ракурсах путём математического синтеза изображений этого объекта, снятого в двух ракурсах [3, 4]. В отличие от ранее разработанных компьютерных программ аналогичного назначения, изображения, полученные по новой программе, имеют значительно более высокое качество: отсутствие многих искажений изображения, характерных для цифрового кино, лучшей передачи глубины пространства и др.

На рис. 1А и 1В показаны два исходных изображения одной и той же сцены, снятой в двух разных ракурсах.

На рис. 1С и 1D показаны два синтезированных изображения той же сцены в промежуточных ракурсах, полученных путём математической обработки исходных изображений по новой программе.



Рис. 1А. Исходное изображение (камера слева)



Рис. 1В. Исходное изображение (камера справа)



Рис. 1С. Постороенное изображение (ракурс 0,3)



Рис. 1D. Постороенное изображение (ракурс 0,7)

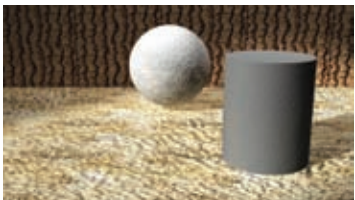


Рис. 2А. Исходное изображение (камера слева)



Рис. 2В. Исходное изображение (камера справа)

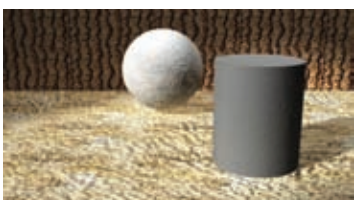


Рис. 2С. Постороенное изображение (ракурс 0,3)



Рис. 2D. Постороенное изображение (ракурс 0,7)

На рис. 2А и 2В показаны два исходных изображения одной и той же сцены с шаром и цилиндром, нарисованных на компьютере в двух разных ракурсах. Видно, что исходные изображения соответствуют объёмной сцене, имеющей значительную глубину. Если спроецировать эти два изображения на экран шириной 4 метра так, что фон окажется в плоскости экрана, то изображение цилиндра приблизится к зрителю, сидящему на расстоянии 8 метров от экрана, на расстояние вытянутой руки (менее одного метра).

На рисунках 2С и 2D показаны два синтезированных изображения, полученные путём математической обработки исходных изображений по разработанной программе.

Синтезированные изображения имеют разные ракурсы, промежуточные между ракурсами исходных изображений. При этом по данной программе можно получить

неограниченное число синтезированных изображений, имеющих самые различные промежуточные ракурсы.

Важно отметить, что качество синтезированных изображений практически такое же, как исходных изображений. Это имеет место, несмотря на заслонение одних предметов сцены другими предметами.

Разработанная компьютерная программа принципиально отличается от известных компьютерных программ тем, что наиболее сложная математическая операция – определение пикселей разных ракурсов, соответствующих одному и тому же элементу сцены, выполняется построчно и попиксельно путём исчерпывающего перебора всех возможных вариантов и с отбором одного из них, обеспечивающего наилучшее соответствие пикселей по яркости и цвету.

Данный принцип обеспечивает более точное синтезирование и исключает многие искажения, которые возникают при использовании программ ранее разработанных как в нашей стране, так и за рубежом. В прежних программах сравниваются между собой не единичные пиксели, а большие группы пикселей сразу нескольких строк.

Попытки применить в более ранних программах принципы, аналогичные нашему принципу, не приводили к положительным результатам потому, что требовалась чрезмерно длительная, не приемлемая для практических целей продолжительность математической обработки.

Нам удалось создать новый алгоритм, решающий эту задачу, и оптимизировать его за счёт использования так называемых «каркасных» изображений, повторяющих исходные изображения с уменьшенным разрешением. Таким путём был достигнут уровень такого быстродействия, которое приемлемо для практических целей при современных номинальных разрешениях в кинематографии 2К.

Нам удалось решить и другую сложную задачу: получать синтезированные изображения тех участков, которые соответствуют фрагментам сцен, снятым только одним объективом из-за частичного заслонения ближайшими предметами сцены более удалённых предметов. При этом естественно удаётся достигнуть психологически точного, а не физически точного решения. Но ведь нет ни одного кинематографического процесса, где бы достигалась физически точная передача изображения. При этом даже для получения психологически точного соответствия приходится избегать съёмки неприемлемых кадров, например, в обычном кинематографе съёмки против солнца или съёмки человека с протянутой рукой близко к камере. Подавляющее большинство характерных для кинофильмов кадров при применении разработанной программы могут использоваться в кинокартинах

без заметного нарушения качества изображения. Есть пути дальнейшего совершенствования программы в отношении качества изображения и быстродействия.

Компьютерная программа предусматривает применение съёмочной камеры, которая имеет, кроме двух основных, ещё один референсный объектив, изображение которого используется только для повышения точности математической обработки. Кроме того, значительно упрощается съёмочный процесс. Вместо множества камер в съёмочной установке применяется только одна камера.

Очень важно отметить, что объём информации, записываемой на носителе и передаваемой к проектору, лишь незначительно превышает объём информации двух основных каналов в отличие от многокамерных стереоскопических систем, использующих множество камер, где этот объём возрастает в несколько раз.

Практическая реализация новой программы для кинематографических целей требует разработки прецизионной цифровой съёмочной камеры и цифрового многокамерного стереоскопического воспроизводящего комплекса.

Для воспроизведения трёхмерных изображений можно использовать экраны разных видов для сепарации изображений так, чтобы левым и правым глазом зрители видели изображения в разных ракурсах: 1) линзово-растровые с цилиндрическими линзами одинакового фокусного расстояния, 2) линзово-растровые с линзами переменного фокусного расстояния, 3) голографические экраны.

Линзово-растровые экраны с цилиндрическими линзами можно применять в помещениях только с небольшим числом зрителей. При параллельном расположении обычных цилиндрических линз, как известно, центры зрительных зон располагаются в одной вертикальной плоскости.

Ширина зрительных зон достигает максимального значения на определённом расстоянии от экрана. При расположении глаз зрителей в этой части зоны достигается наилучшее качество изображения, т.е. только в одном ряду зрительских мест. Уже в рядах, расположенных спереди и сзади основного ряда, зрительные зоны сужаются, что приводит к снижению качества изображения. Это создаёт серьёзные трудности для применения такого рода экранов в кинотеатрах.

Линзово-растровые экраны с линзами переменного фокусного расстояния (вдоль линз) образуют зрительные зоны с центрами, лежащими в сильно наклонённой плоскости, что позволяет показывать стереоскопические кинокартины одновременно достаточно большому числу зрителей, как в обычных кинотеатрах. Разработанная в 40-х годах в НИКФИ система безочкового двухкамерного стереоскопического кинематографа с растровым экраном, имеющим линзы переменного фокусного расстояния (руководитель С.П. Иванов) применялась до 60-х годов для съёмки и кинотеатрального показа стереофильмов в нашей стране и за рубежом. Из-за большого недостатка этой системы – необходимости соблюдать зрителями неподвижное положение, эта система более не применя-

лась, но некоторые её принципы могут использоваться в новых многокамерных цифровых системах.

Голографические экраны имеют преимущество перед растровыми: возможность более точно формировать зрительные зоны и обеспечивать тем самым более высокое качество трёхмерного изображения. Кроме того, зрительные зоны, а, следовательно, и зрительские места, могут располагаться во много рядов и более компактно, чем в растровых безочковых кинотеатрах.

Выполненные в НИКФИ в 2007–2008 гг. теоретические и расчётные работы по изысканию наиболее рациональных способов изготовления голографических экранов больших размеров, какие обычно используются в кинотеатрах, показали, что имеются реальные пути их создания для систем многокамерного стереоскопического кино, а затем и в системах голографического кинематографа.

Все принципы создания голографических экранов для проекции трёхмерных изображений проверены теоретически и экспериментально. Основная трудность осуществления практического кинотеатрального применения связана с большим объёмом работ по выполнению комплекса технологического оборудования, необходимого для изготовления экранов больших размеров. Для технологических упрощений возможно применение поэлементного экспонирования импульсными лазерами сравнительно небольшой мощности без использования антивибрационных стенов; копирования экранов.

Конечно, проведение работ по созданию безочковых многокамерных систем кинематографа не должно препятствовать расширению объёма актуальных научно-исследовательских и технологических работ по традиционным системам стереоскопического кинематографа с использованием сепарирующих очков.

Следует отметить, что крупные научные и технологические заделы в области записи и воспроизведения объёмных изображений, выполненные в НИКФИ такими талантливыми специалистами, как А.Г. Болтянский и О.Б. Серов, рано ушедшими от нас; успешно работающими сегодня С.Н. Рожковым, А.С. Мелкумовым в содружестве с МКБК и киностудиями, а также коллективом специалистов лаборатории, руководимой Ю.Н. Овечкисом, конечно, будут содействовать быстрому прогрессу в важнейшем для кинематографии направлении – трёхмерном киноизображении. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. *Комар В.Г., Сон Д.Ю., Сабо С.А., Майоров В.П. и др.* Трёхмерная телевизионная многокамерная безочковая система. ТКТ, № 4, 1998.
2. *Елхов В.А., Кондратьев Н.В., Овечкис Ю.Н., Паутова Л.В.* Безочковая система показа объёмных многокамерных изображений. МТК, № 11, 2009.
3. *Комар В.Г., Озеров С.И.* Получение многокамерного изображения из двухкамерного. МТК, № 4, 2008.
4. *Озеров С.И.* Интегральное стереокино по трём снятым ракурсам. МТК, № 11, 2009.



ФУЗИОННЫЕ СПОСОБНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

и возможности расширения диапазона параллаксов в стереофильмах без увеличения нагрузки на зрительную систему

Г.И. Рожкова, ИППИ им. А.А. Харкевича РАН, Н.Н. Васильева, Чувашский ГКУ им. И.Я. Яковлева, С.Н. Рожков, ОАО «НИКФИ»

Научно-техническая конференция «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других отраслях», 23-24 апреля 2009 г.

Цель доклада – обратить внимание специалистов, занимающихся созданием стереофильмов, на особенности бинокулярного зрения человека, которые можно использовать для увеличения диапазона рабочих параллаксов. Принятые в настоящее время ограничения базируются на результатах, полученных много десятилетий назад. В то же время, за последние 50 лет представления физиологов о механизмах бинокулярного восприятия и организации зрительной системы претерпели радикальные изменения. Только число исследованных зон коры мозга, имеющих непосредственное отношение к переработке зрительных сигналов, увеличилось почти на порядок [1, 2]. Усложнилась и схема выявленных взаимосвязей зрительной системы с обслуживающими системами – глазодвигательной и аккомодационной (рис. 1).

Благодаря пионерским идеям Б.Н. Компанейского [3], получившим развитие в работах Б. Юлеша по созданию компьютерных случайно-точечных стереограмм и исследованию особенностей их восприятия [4, 5], было доказано, что бинокулярные механизмы способны автономно формировать объёмно-пространственный зрительный образ, а не только объединять пару «полуфабрикатов», уже сформированных монокулярными механизмами. Эти работы послужили отправным пунктом для новых направлений исследования бинокулярного зрения, в результате которых сложилось представление о существовании нескольких параллельных каналов переработки информации, выходные сигналы которых анализируются и объединяются в некотором интегративном центре, определяющем параметры воспринимаемых образов [6-8].

Переходя к сути доклада, напомним и сопоставим основные термины из двух областей – стереоскопии и бинокулярного стереозрения. При обычном наблюдении реальной сцены воспринимаемый образ кодируется естественной стереопарой – изображениями на сетчатках левого и правого глаза. Эта сетчаточная стереопара точно соответствует позициям объектов относительно наблюдателя, состоянию аккомодации и направлению взора. При восприятии стереофильма сетчаточная стереопара определяется не реальными объектами, а предъявляемой на экране искусственной стереопарой, на которой эти объекты представлены сопряжёнными точками левого и правого изображений, соответствующими условиям съёмки и кинопроекции. Когда мы смотрим стереофильм, часть объектов воспринимается в плоскости экрана. Сопряжённые точки этих объектов имеют нулевой параллакс: на экране их

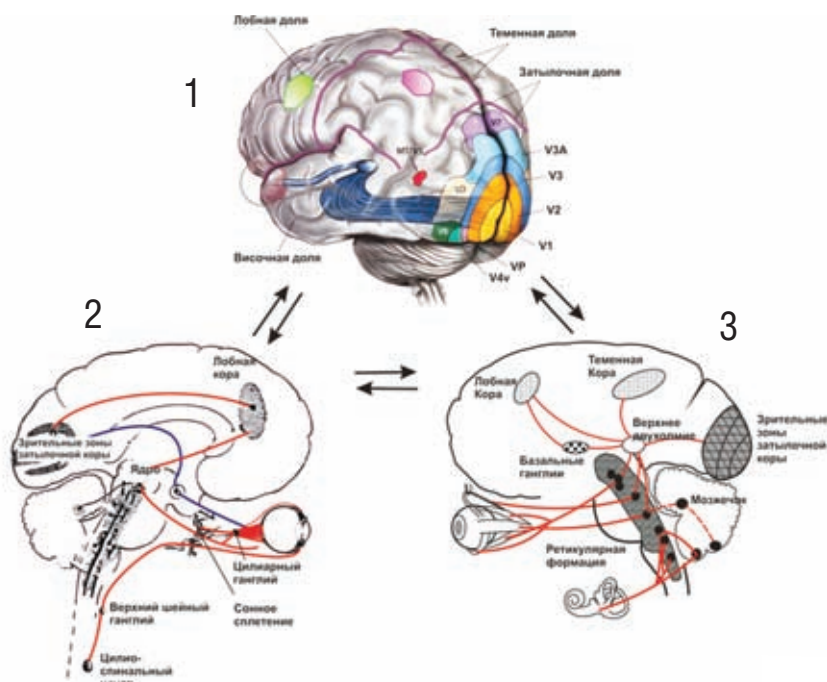


Рис. 1. Зрительные зоны коры головного мозга (1) в затылочной, височной, теменной и лобной областях больших полушарий и их связи с аккомодационной (2) и глазодвигательной (3) системами. V1-V8 – различные зрительные зоны коры головного мозга, выполняющие различные функции по анализу сетчаточных изображений

изображения совмещаются друг с другом. У сопряжённых точек стереопары, воспринимаемых в предэкранном пространстве, параллакс считается отрицательным, а у точек, воспринимаемых в заэкранном пространстве, – положительным [9,10]. При положительном параллаксе точки правого изображения располагаются правее сопряжённых точек левого изображения, а при отрицательном параллаксе – левее (рис. 2).

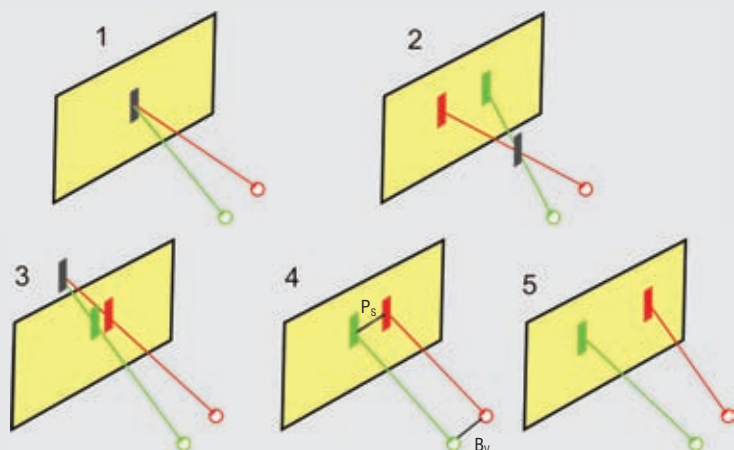


Рис. 2. Экранные параллаксы

1 – нулевой параллакс: объект воспринимается в плоскости экрана; 2 – отрицательный параллакс: объект воспринимается перед экраном; 3 – положительный параллакс: объект воспринимается за экраном; 4 – положительный параллакс, равный базису зрения ($P_s = B_v$): теоретически, объект должен восприниматься в бесконечности; 5 – положительный параллакс, превышающий базис зрения; при рассмотрении реальных объектов подобная ориентация зрительных осей не имеет места, при стереопроекции в ограниченных пределах позволяет воспринимать единый бинокулярный образ; L, R – левый, правый глаз; B_v – базис зрения; P_s – экранный параллакс

дения и при восприятии виртуальных трёхмерных сцен этот фактор действует сходным образом. Рис. 3 поясняет понятие «фузионная зона». Хорошо известно, что при фиксации взгляда на некоторой реальной или виртуальной точке другие точки в поле зрения могут казаться раздвоенными, если они расположены существенно ближе или дальше точки фиксации. Иными словами, существуют критические значения параллаксов (или диспаратностей),

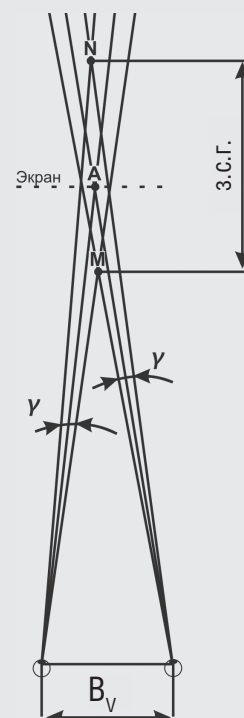


Рис. 3. Фузионная зона, или зона стереоскопической глубины (з.с.г.)

A – точка фиксации взгляда; M, N – ближняя и дальняя точки з.с.г.; B_v – базис зрения; γ – фузионный угол

В психофизиологии для обозначения сопряжённых точек на стереопаре или на сетчатке используют термин «корреспондирующие точки». Экранному параллаксу в психофизиологии соответствует термин «диспаратность» (в переводе – несоответствие), причём для точек, находящихся ближе точки фиксации взгляда, диспаратность считается отрицательной, а для точек, расположенных дальше точки фиксации, – положительной. Таким образом, знаки, характеризующие взаимное расположение сопряжённых, или корреспондирующих, точек стереопары в стереоскопии и физиологии совпадают. Физиологическому термину «распад бинокулярного образа» в стереоскопии соответствует термин «разрушение стереоэффекта».

Можно выделить два главных фактора разрушения или невозможности получения стереоэффекта. Первый – ограниченность зоны бинокулярного слияния (фузионной зоны), или зоны стереоскопической глубины, вокруг точки фиксации взгляда. В естественных условиях наблю-

превышение которых ведёт к двоению воспринимаемого образа, или диплопии. Оценку размеров фузионной зоны одним из первых произвёл Герман Люшер в 1930 г. Согласно его измерениям, фузионный угол γ (зона стереоскопической глубины в угловой мере) составляет в среднем 70 угловых минут. Исходя из такой величины фузионного угла, несложно рассчитать, что при фиксации взгляда на точке, отстоящей от наблюдателя на 6 м, все объекты, расположенные по направлению взгляда в диапазоне расстояний от 3,2 м до бесконечности, двоиться не будут. В то же время для случаев фиксации взгляда на близких объектах расчёт даёт весьма узкие интервалы глубины. В частности, если точка фиксации находится на расстоянии 0,5 м, расчётная зона бинокулярного слияния будет иметь протяжённость менее 20 см: от 0,43 м до 0,60 м. Однако последующие измерения показали, что эти цифры можно считать лишь ориентировочными, так как размеры фузионной зоны существенно зависят от многих параметров зрительной сцены. В связи с этим

возникают сомнения относительно возможности сформулировать единые жёсткие требования для всех условий стереосъёмки.

Очевидно, что рассмотренное двоение образов за пределами фузионной зоны связано с неспособностью бинокулярных механизмов совместно обрабатывать и объединять в трёхмерный образ слишком далеко отстоящие «нейронные проекции» сопряжённых точек левого и правого изображений. В результате зрительная система переходит в режим так называемого одновременного зрения (т.е. бинокулярного, но не стереоскопического), и человек видит отдельные образы, формируемые на основе сигналов левого и правого глаза. Анатомической причиной этого может быть ограниченная протяжённость связей между нейронами в тех зонах мозга, куда поступают сигналы от обоих глаз и где происходит объединение этих сигналов. Можно сказать, что размеры фузионной зоны ограничиваются анатомо-физиологическими особенностями организации тех отделов сенсорной зрительной системы, в которых производится анализ относительного расположения сопряжённых точек на сетчатках двух глаз.

Вторая причина двоения имеет принципиально иную природу, она связана, главным образом, с рассогласованием сигналов двух вспомогательных систем – глазодвигательной и аккомодационной, хотя участие сенсорной системы тут тоже нельзя отрицать. Указанные моторные (мышечные) системы обслуживают зрительную сенсорную систему и должны создавать условия для её оптимального функционирования. Глазодвигательная система должна управлять согласованными движениями глаз, обеспечивая бификсацию – наведение осей обоих глаз на точки рассматриваемого объекта зрительной сцены, а аккомодационная система должна обеспечивать хорошую фокусировку этого объекта. В естественных условиях эти две системы работают согласованно и слаженно: сведение/разведение осей двух глаз (увеличение/уменьшение угла конвергенции) при переводе взора на более близкий/далекий объект автоматически сопровождается соответствующим изменением аккомодации. Правда, следует отметить, что и в естественных условиях точное соответствие достигается не всегда.

Главное отличие восприятия виртуальной объёмно-пространственной картины от рассматривания аналогичной реальной сцены состоит в том, что при перемещении взора по глубине в виртуальной картине невозможно избежать рассогласования процессов конвергенции и аккомодации, оно возникает систематически. Действительно, с одной стороны, воспринимаемое расположение виртуальных объектов, формирующихся перед экраном или позади него, отражает пространственные соотношения между реальными объектами, поэтому перевод взора в виртуальной сцене сопровождается адекватными изменениями угла конвергенции зрительных осей. Но, с другой стороны, изображения стереопары, по которым производится фокусировка глаз, неизменно располагаются на поверхности экрана, поэтому для сохранения чёткости видимых обра-

зов аккомодация всегда должна оставаться соответствующей расстоянию до экрана, а не до рассматриваемого виртуального объекта. Таким образом, конфликт между вергенцией и аккомодацией в стереокино автоматически порождается самим способом создания виртуальной 3D сцены. (В случае голографического способа создания виртуальной 3D сцены такого конфликта нет).

В офтальмологии мерой способности человека переносить подобное рассогласование аккомодации и вергенции являются фузионные резервы – конвергентные и дивергентные. Для их количественной оценки при неизменном расстоянии до тест-объекта искусственно увеличивают конвергентную/дивергентную нагрузку до появления расплывчатости (blur-point) и затем – до распада бинокулярного образа (break point). Еще один показатель оценивают, идя в обратном направлении, т.е. уменьшая нагрузку после распада бинокулярного образа до восстановления фузии (recovery point) [11]. Простейший способ проведения таких измерений заключается в наблюдении тест-объекта через призменные устройства, позволяющие мелкими шагами изменять направление лучей и, соответственно, – ориентацию зрительных осей, вызывая избыточную конвергенцию либо дивергенцию.

В приложении к стереоскопии, фузионные резервы, как и фузионная зона, характеризуют критические расстояния по глубине между точками двоения образов. Но если фузионная зона – это расстояние между двумя объектами (самым близким и самым дальним), воспринимаемыми без диплопии в стационарной картине при фиксации взора на некоторой средней точке, то фузионные резервы – это расстояние по глубине между точками, в которых начинает двоиться один виртуальный объект фиксации, перемещаемый по глубине от плоскости экрана путём изменения параллакса в сопряжённых изображениях этого объекта. В процессе измерений конвергенция меняется в соответствии с изменениями величины параллакса, а аккомодация остаётся неизменной (как и при оценке фузионной зоны).

При оценке фузионных резервов значения допустимого удаления виртуального образа от экрана по глубине существенно выходят за пределы фузионной зоны. Представление о типичных значениях фузионных резервов у взрослых даёт таблица 1, в которой приведены данные из справочного пособия Американской оптометрической ассоциации [11] по измерениям при помощи призмного устройства для расстояния 6 м и данные наших измерений, полученных для расстояния 0,5 м на компьютерной установке с использованием случайно-точечных тест-объектов. Для всех данных проведён расчёт соответствующих критических расстояний от наблюдателя до точки пересечения зрительных осей. Эти критические расстояния можно сопоставить с приведёнными выше границами фузионных зон по глубине. Если при расположении экрана на расстоянии 6 м от зрителя ближняя граница фузионной зоны проходит на уровне 3,2 м от его глаз, то при оценке фузионных резервов критиче-

ское расстояние составляет 0,25 м по критерию распада бинокулярного образа (break point) и 0,40 м – по критерию восстановления фузии (recovery point). Сопоставить дальние границы по глубине для расстояния до экрана 6 м не представляется возможным, так как все они находятся в бесконечности или в неопределённости (когда оси глаз разведены). При расстоянии до экрана 0,5 м фузионная зона лежит в пределах от 0,43 м до 0,60 м, а для фузионных резервов ближнее и дальнее критические расстояния от зрителя составляют 0,23 м и ∞.

Табл. 1. Фузионные резервы человека для расстояний до экрана 6 м и 0,5 м, представленные тремя способами: через силу нагрузочных призм (в призмённых диоптриях), экранные параллаксы и расстояния от глаз

Расстояние до зрительного стимула	Конвергентные резервы			Дивергентные резервы		
	Призмённые диоптрии	Параллакс на экране, мм	Расстояние от глаз, м	Призмённые диоптрии	Параллакс на экране, мм	Расстояние от глаз, м
6 м (break point)	19	- 1140	0.26	7	+ 420	∞
6 м (recovery point)	10	- 600	0.40	4	+ 240	∞
0,5 м (break point)	24	- 120	0.23	14	+ 70	∞

Следует заметить, что фузионные резервы, в среднем, увеличиваются с возрастом, хотя во всех возрастных группах наблюдается значительная индивидуальная вариабельность. Об индивидуальной вариабельности значений фузионных резервов у старших дошкольников и

школьников можно судить по рис. 4, на котором фузионные резервы выражены через критические избыточные углы конвергенции и дивергенции. Из этого рисунка видно, что у отдельных младших школьников фузионные резервы превышают средние значения, полученные для старшеклассников, и, наоборот, у части старшеклассников фузионные резервы ниже средних значений первоклассников.

До недавнего времени фузионные резервы в большинстве случаев измеряли в квазистационарном режиме, меняя параллакс между сопряжёнными точками и тем самым – ориентацию зрительных осей мелкими шагами, поэтому приводимые в справочниках значения фузионных резервов можно считать показателями наблюдения

стационарных сцен. В последние годы для измерения фузионных резервов все шире используют интерактивные компьютерные программы. Это даёт возможность систематически варьировать скорость движения тест-объектов и оценивать фузионные резервы для динамических сцен. Измерения показали,

что фузионные резервы для динамических стимулов при определённых скоростях движения могут быть заметно больше, чем для стационарных стимулов. Более того, в условиях рассогласования аккомодации и конвергенции динамические стимулы могут вызывать меньшее зрительное напряжение и меньший психофизиологический дискомфорт у наблюдателя.

На рис. 5 для примера приведены индивидуальные кривые зависимости фузионных резервов от скорости движения зрительных стимулов по экрану дисплея, расположенному на расстоянии 0,5 м от глаз. Левые точки графиков соответствуют малым скоростям и квазистационарным условиям. Видно, что у некоторых людей конвергентные резервы с повышением скорости могут увеличиваться в 1,5–2 раза, но «наилучшие» значения скоростей у разных людей

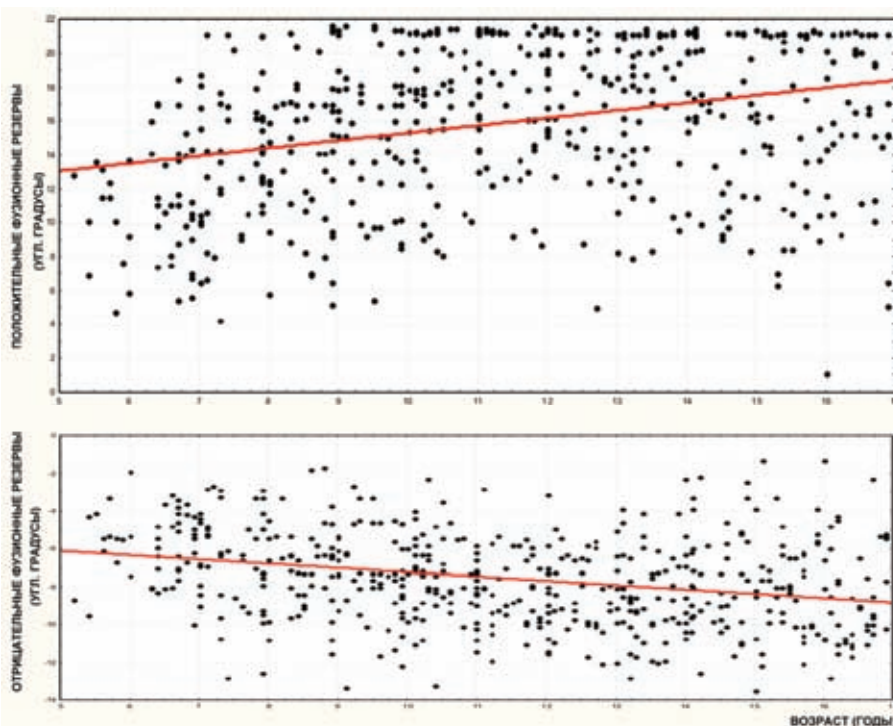


Рис. 4. Разброс значений конвергентных (вверху) и дивергентных (внизу) фузионных резервов у старших дошкольников и школьников

Измерения проведены на компьютерной установке с расстояния 0,5 м; тест-объект – случайно-точечная стереограмма.

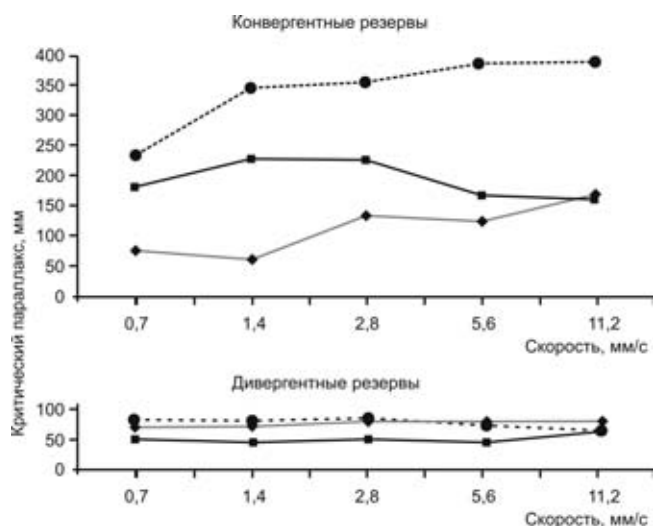


Рис. 5. Индивидуальные кривые зависимости фузионных резервов от скорости движения объекта (каждая кривая соответствует данным одного испытуемого, полученным в одном эксперименте)

могут быть разными. Судя по имеющимся данным, можно предположить, что для указанных условий наблюдения у большинства людей оптимальные скорости попадут в диапазон 1,4–5,6 мм/сек. Если экран будет находиться на расстоянии 6 м от наблюдателя, логично ожидать увеличения скоростей примерно в 12 раз, т.е. до 17–70 мм/сек, хотя прямые пересчёты на другие расстояния в офтальмологии некорректны. Для дивергентных резервов явной и однозначной зависимости от скорости не видно. Конечно, во всех случаях слишком большие скорости недопустимы, так как человек просто не сможет внимательно следить за объектом. Что же касается комфортности восприятия, отчёты всех испытуемых свидетельствуют о преимуществах средних значений скоростей по сравнению с малыми. При этом дело не только в том, что малые скорости удлиняют процедуру измерений, поскольку длительное наблюдение объекта в естественных условиях не приводит к напряжению, сравнимому с напряжением, требующимся для удержания фузии в условиях нарастающего рассогласования аккомодации и вергенции. По-видимому, в этих условиях режим слежения за виртуальным объектом, движущимся с умеренной скоростью, ближе к определённым естественным ситуациям, чем режим длительной фиксации неподвижного виртуального объекта.

Анализ полученных данных относительно величины фузионных резервов в различных условиях зрительной стимуляции (при различных параметрах тест-объектов) позволяет предполагать, что общепринятые ограничения на величину экранных параллаксов, в среднем, могут быть существенно ослаблены. А результаты измерения фузионных резервов для тест-объектов, движущихся с различными скоростями, при помощи интерактивных компьютерных программ дают основание надеяться, что расширение диапазона приемлемых параллаксов может быть значительнее для динамических сцен. Практи-

ка стереокинопоказа подтверждает, что в ряде случаев при движении виртуальных объектов в продольном направлении, как во внутризальное пространство, так и в заэкранное, завышенные параллаксы либо не вызывают дискомфорта, либо дискомфорт оказывается существенно меньшим, чем для стационарных объектов, отображаемых с такими же параллаксами.

Учитывая зависимость фузионных способностей человека от условий наблюдения и параметров рассматриваемой зрительной сцены, трудно надеяться на выработку единых правил и строгих нормативов относительно процесса стереосъёмки. Однако некоторые минимальные требования для разных типов сцен, безусловно, могут быть сформулированы. Существующие в настоящее время рекомендации в большинстве случаев скорее относятся к категории достаточных, чем необходимых, и во многих случаях накладываемые ограничения могут быть значительно смягчены.

По мнению авторов, изложенное выше может служить основанием для специального исследования влияния параметров снимаемой сцены (стереоскопических, фотографических, фотометрических) и условий стереокинопроекции на степень допустимого расширения диапазона экранных параллаксов. Результаты этих работ могут лечь в основу новых рекомендаций по стереокиносъёмке и организации стереокинопроекции. ■

Авторы выражают благодарность В.В. Огнивову и Т.А. Оганяну за техническую помощь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zeki S. A vision of the brain. Oxford: Blackwell Scientific, 1993.
2. Atkinson J. The developing visual brain. New York: Oxford University Press Inc., 2000.
3. Компанейский Б.Н. Глубинные ощущения. Анализ теории раздражения не вполне соответствующих точек // Вестн. офтальмологии. 1939. Т. 14. № 1. С. 90-105.
4. Julesz B. Binocular depth perception of computer-generated patterns // Bell Syst. Techn. J. 1960. Vol. 39. N 5. P. 1125-1162.
5. Julesz B. Foundation of cyclopean perception. Chicago: Univ. Chicago Press, 1971.
6. Wolfe J. M. Stereopsis and binocular rivalry // Psychol Rev. 1986. Vol. 93. N 3. P. 262-282.
7. Cogan A.I. Human binocular interaction: towards a neural model // Vision Res. 1987. V. 27. № 12. P. 2125-2139.
8. Рожкова Г.И. Бинокулярное зрение // Физиология зрения. М.: Наука, 1992. С. 586-664.
9. Валюс Н.А. Стереоскопия: Фотография, кино, телевидение. М.: Искусство, 1986.
10. Рожков С.Н., Овсянникова Н.А. Стереоскопия в кино-, фото-, видеотехнике. М.: Парадиз, 2003.
11. Cooper J.S., Burns C.R., Cotter S.A., Daum K.M., Griffin J.R., Scheiman M.M. Care for the patient with accommodative and vergence dysfunction. Optometric clinical practice guideline. U.S.A.: Healthy Vision, 2000.



Цифровая цветная ТРЕХМЕРНАЯ ГОЛОГРАММА

С.Б. Одинокоев, к.т.н.
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Научно-техническая конференция «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других отраслях», 23–24 апреля 2009 г.

Цифровая цветная трёхмерная голограмма (ЦЦТГ) – это голограмма, состоящая из двумерного множества элементарных голограмм, называемых голопикселями. Каждый голопиксель восстанавливает при освещении его белым светом цветное мнимое изображение объекта с горизонтальным или полным параллаксом.

Структура ЦЦТГ

- Голограмма состоит из двумерного множества голопикселей.
- Голопиксель состоит из трёх мультиплексированных субголопикселей, записанных на красной, зелёной и синей длине волн на среде, фоточувствительной ко всем этим длинам волн.

Достоинства ЦЦТГ

- Полноцветность
- Высокая глубина объёмного изображения
- Компьютерный синтез
- Создание голограмм живых сцен
- Возможность анимации
- Горизонтальный или полный параллакс
- Угол обзора до 90 градусов
- Размер голограммы до 1x1,5 м (возможно увеличение размера до 2x3 м путём состыковки отдельных голограмм)
- Простота подсветки (белые галогенные лампы)

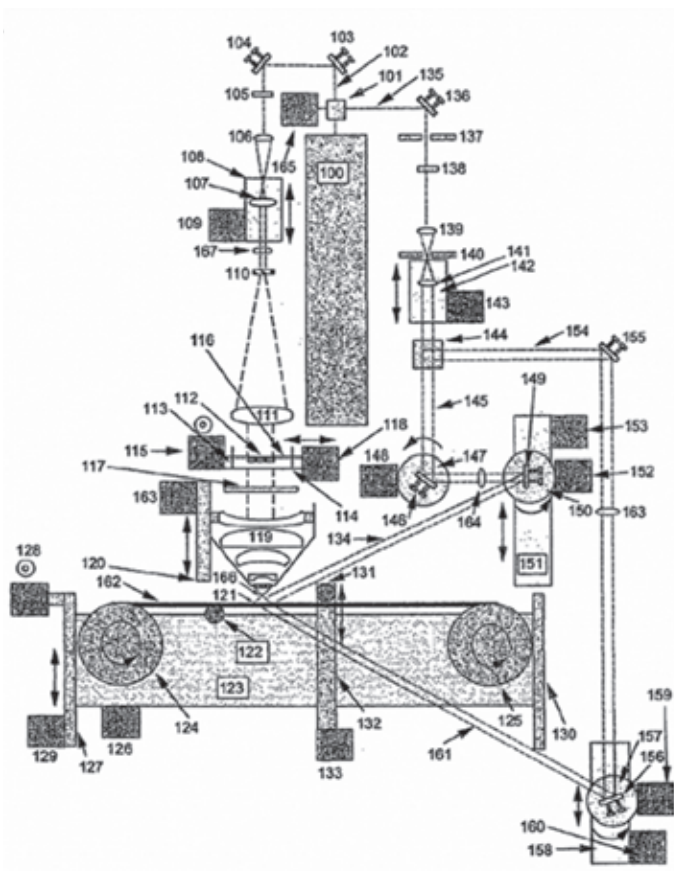


Рис. 1. Схема установки записи

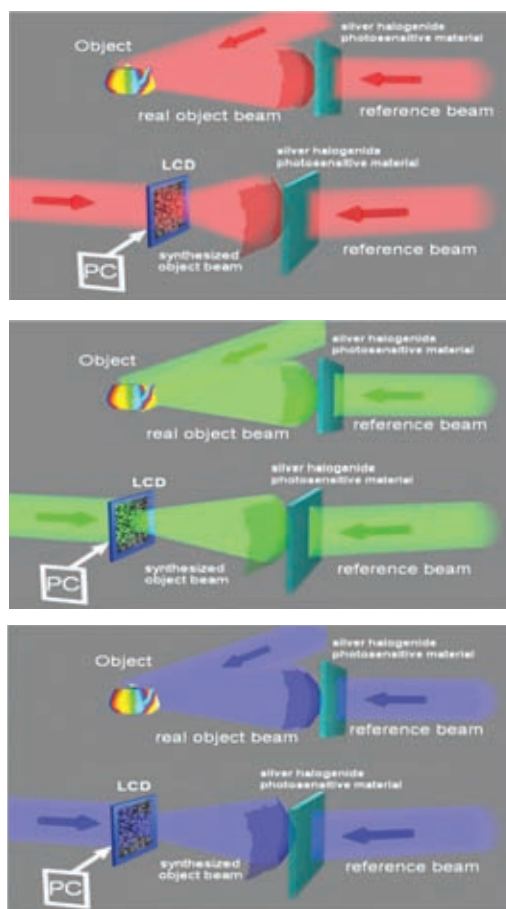


Рис. 2. Оптическая схема записи отдельных цветных голопикселей на трёх длинах волн

Запись голопикселя

Это происходит в несколько этапов:

1. На ЖК ПМС выводится рассчитанная картина.
2. Падающий на ЖК экран пучок претерпевает модуляцию и становится предметным пучком.
3. Объектив фокусирует предметный пучок на фотоматериале в пятно от 0,8х0,8 мм до 1,6х1,6 мм.
4. В это же место на фотоматериал падает опорный пучок.
5. Фотоматериал смещается далее.

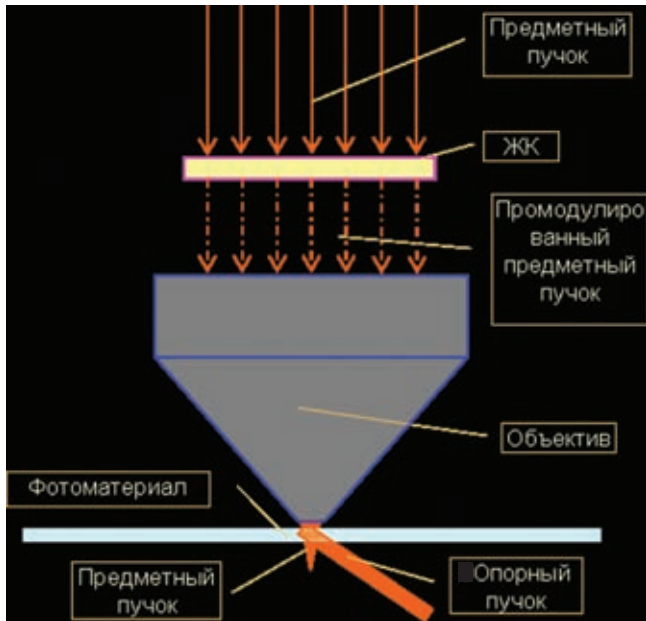


Рис. 3. Запись голопикселя



Рис. 4. Схема освещения голограммы для воспроизведения цветных изображений

Основные параметры таких голограмм:

- 1) Размеры – могут быть от А6 до 1 м (высота) на 1,5 м (ширина). Угол горизонтального обзора распечатки ~100°.
- 2) Скорость печати зависит от размера микроголограмм, составляющих конечное изображение. Размер применяемых микроголограмм – 1,6 мм или 0,8 мм. Скорость печати составляет соответственно 6,5 часов/м² и 24 часа/м².

3) Для просмотра объёмной сцены, находящейся на голограмме, она должна быть освещена стандартными галогенными лампочками. Лампочки располагаются таким образом, чтобы освещать распечатку под углом 40–45°, как показано на рисунке 4.

Создание голограмм живых сцен

Голограмма может быть синтезирована на основе ряда фотографий живой сцены, замещающих компьютерную модель. ■

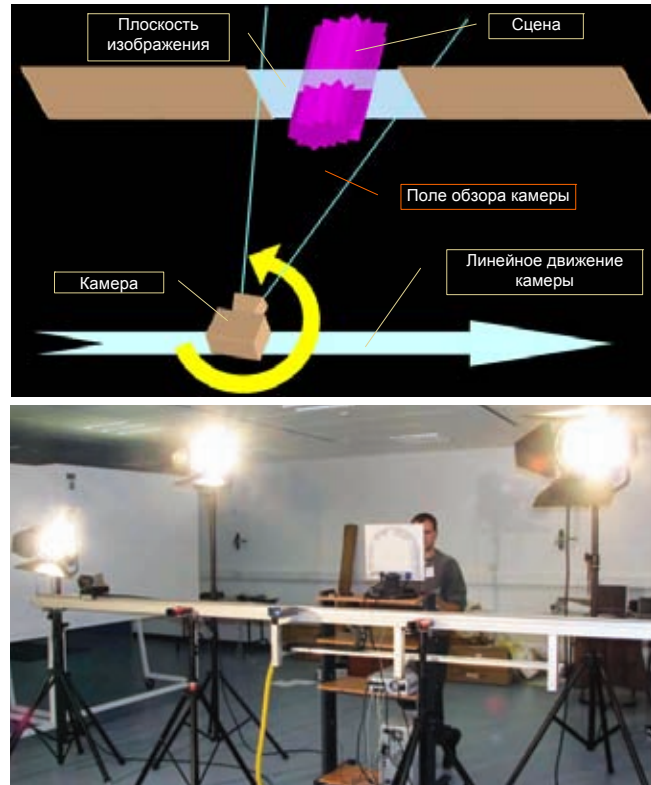
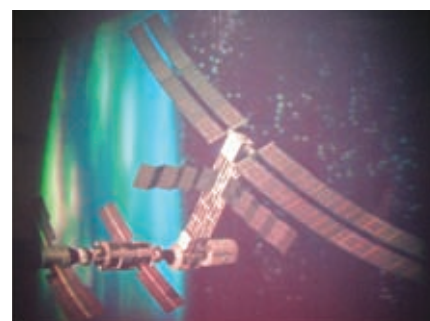
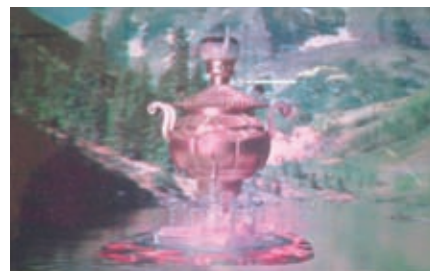
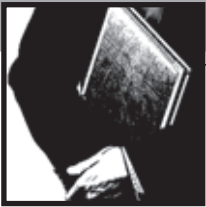


Рис. 5. Создание голограмм живых сцен

Примеры голограмм





Параметрический усилитель экранного параллакса

Б.П. Булаев,
ОАО ФСК ЕАС

■ Предлагается новый подход для изготовления автостереоскопических компьютерных изображений или Автостереоскопических Фрактально Лестничных Структур (ASFs), основанный на лестничных фракталах и муаровых методах. Кроме того, мы нашли, что нежелательные муаровые шумы в ASFs заметно уменьшаются, если используются высокочастотные фрактальные шумы.

Как показано в экспериментах, эти ASFs по своему поведению подобны отражательным голограммам или голограммам Денисюка. Анализируя геометрию параллакса окружности (CSL-параллакс) в формировании объёмных сигналов в ASFs, мы надеемся создать основы для проектирования автостереоскопических изображений, изготовленных или отображаемых с помощью стандартной цифровой техники. Фактически данный метод получения автостереоскопических изображений является наиболее

дешёвым из всех существующих, т.к. для изготовления ASFs используются обычные лазерные принтеры (т.е. стандартная техника без сложной обработки) с разрешением не ниже 600 dpi. Изображения можно получать на экране монитора, но с худшим разрешением. Трудности метода – сложность синтеза изображений и низкая интенсивность. Наиболее важный пример – компьютерный синтез и изготовление трёхмерных графических примитивов с использованием стандартного лазерного принтера.

Метод относится к автостереоскопии (безочковой, бинокулярной стереоскопии) или к автостереоскопическим системам отображения информации, а именно к цифровому способу синтеза и воспроизведения объёмных изображений. Некоторым образом, это относится к геометрической оптике, к цифровым дисплеям и к цифровой печати и полиграфии. Автостереоскопические системы отображения информации – это системы отображения пространственной или трёхмерной информации, не использующие специальные системы слежения для глаз или специальные очки.

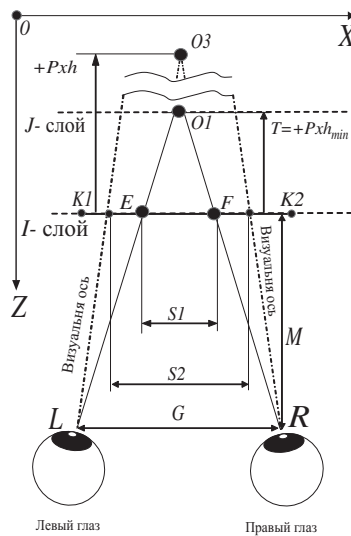
Известны и широко используются аналогичные способы синтеза объёмного изображения, синтезированные на базе интегральных фотографий Липпмана или системы с барьерным параллаксом или растром, или их комбинации.

Такие системы используют фотографическое, телевизионное или компьютером синтезированное обработанное изображение на экране или на подложке. При этом на экран или на подложку выводится или наносится специальное подготовленное синтезированное изображение. Перед экраном или прямо на экране, или на подложке с изображением устанавливается устройство с угловой селективностью или сепарирующее устройство: система линз или барьерная решётка, которая позволяет каждому глазу видеть отдельно своё изображение, таким образом, формируется бинокулярная разность, вос-

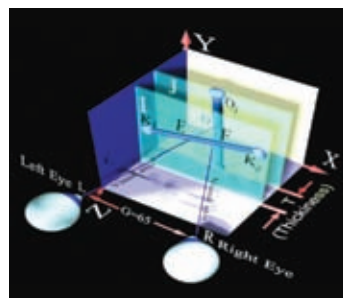
производится нужный стереоэффект, и наблюдатель видит объёмное изображение. Устройства, использующие наш способ цифрового синтеза объёмного изображения, также принадлежат к классу аналогичных автостереоскопических систем потому, что мы не используем специальных очков и систем слежения для глаз. Используются две, предварительно синтезированные на компьютере, структуры изображения. И сама суперпозиция этих структур, в двух не пересекающихся плоскостях, выводит объёмное изображение.

К недостаткам предыдущих систем следует отнести не только сложный процесс получения результирующего изображения, но и необходимость специального оборудования для изготовления сепарирующего устройства. А это делает невозможным цифровую печать объёмного изображения. В настоящее время не существует серийных недорогих и общедоступных компьютерных принтеров для вывода на печать объёмных изображений.

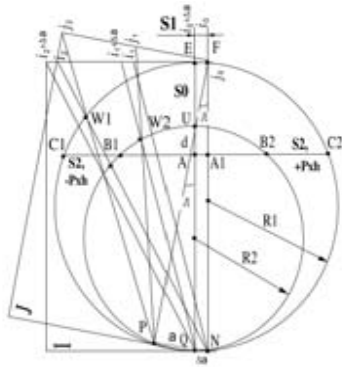
Например, системы с барьерным параллаксом или растровые системы весьма неудобны, так как необходи-



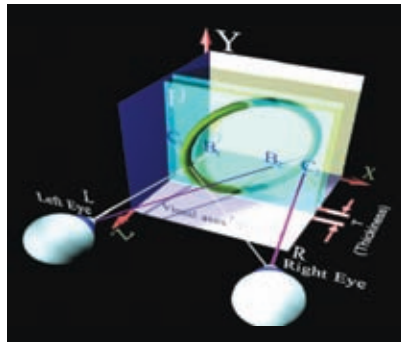
SL параллакс



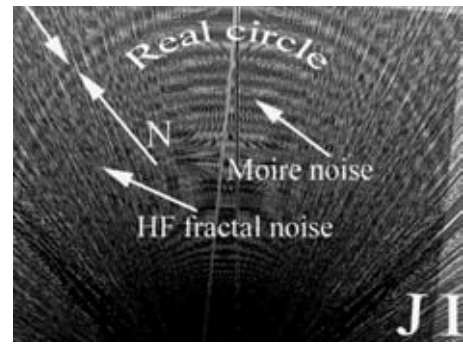
3D SL параллакс



CSL параллак



3D CSL параллак



CSL параллак

мо не только изготавливать специальные решётки, но и выбирать правильное положение головы в определённой зоне перед экраном. В качестве прототипа мы можем взять наиболее развитые системы с микролинзами, на базе интегральных изображений Липпмана, так как они ближе по своим свойствам к голограмме. «Интегральная фотография – метод (способ) получения объёмных изображений, заключающийся в съёмке на специальную пластинку, передняя поверхность которой – растр, состоящий из большого количества сферических микролинз». Существуют множество подобных систем. Данные системы используют не только системы микролинз, но и системы ленточных линз и системы линз Френеля. В этом случае, например, для изготовления автостереоскопического изображения нужно не только напечатать изображения после предварительной и сложной обработки, но и изготовить систему оптических микролинз. Ясно, что для этого нужен специальный дорогостоящий принтер или сложное оборудование, которые не выпускаются серийно. Поэтому на обычных, серийно выпускаемых компьютерных принтерах это сделать невозможно.

Задачей автора было создание способа синтеза информации для самой простой автостереоскопической системы, которая может использовать недорогое действующее оборудование для изготовления или печати автостереоскопических изображений. Если бы можно было отказаться от системы линз в фотографиях Липпмана, тогда мы могли бы изготавливать такое изображение на обычных серийных принтерах или в домашних условиях, без сложных шагов промышленной обработки, например, на обычном персональном компьютере и струйном или лазерном принтере. Указанный результат достигается тем, что применяется весьма необычный экраный параллак окружности, образованной путём суперпозиции двух слоёв скрещивающихся фазово-периодических структур лестничных фракталов

Формулы SL и CSL-параллакс

$$\beta(R_1, d, \alpha) = SPxh(d)/SPxh > 1$$

$$SPxh = kGT/(T+M)$$

$$SPxh(0) = SPxh / \sin 2\alpha = SPxh 2R_1/a$$

$$SPxh(\varphi) = SB3 = 2(R1-R2)\cos \varphi = SPxh(0)\cos \varphi$$

$$SPxh(d) = A'C1-A'B1 = [(2R1 - d - SPxh/ \sin 2\alpha)]^{1/2} \{ [1+SPxh/ (d \sin 2\alpha)]^{1/2} - 1$$

(PPSSFs), который и можно применять для создания простой автостереоскопической системы отображения. Сокращенно: экраный Параллак Окружности из Скрещивающих Линий или CSL-параллак, английское название: Circle of Skew Lines или CSL-parallax.




Фактически, эффект достигается тем, что CSL-параллак работает как мощный параметрический усилитель очень малого экранного горизонтального параллакса скрещивающихся линий. Достаточно лишь правильно синтезировать геометрические структуры. Их суперпозиция и даёт объёмное изображение. Это позволяет нам отказаться от линзовой системы и легко изготовить автостереоскопическое изображение, что и отличает её от других систем. Например, в результате такой параллельной перекрещиваемой суперпозиции, но не пересечения двух одинаковых, прямолинейных плоских слоёв PPSSFs образуется базовый треугольник, одна из сторон которого и является диагональю описанной окружности этого треугольника. Так как вышеуказанные структуры не пересекаются, каждый глаз, вследствие естественного или бинокулярного углового смещения (среднее расстояние между глаз принято примерно равным 65 мм), будет видеть свою окружность. В результате образуется экраный параллак или CSL-параллак, который можно существенно увеличивать, изменяя параметры этих окружностей и расстояние между PPSSFs. Далее, используя элементы дуги этих окружностей, можно конструировать различные геометрические объекты, с автостереоскопическим эффектом, как для положительного, так и для отрицательного параллакса.

Благодаря данному CSL-параллаксу, подобным системам не нужны сложные системы линз, их легко изготовить на обычном лазерном или струйном принтере. ■

Соотношение параметров усиления CSL-параллакса

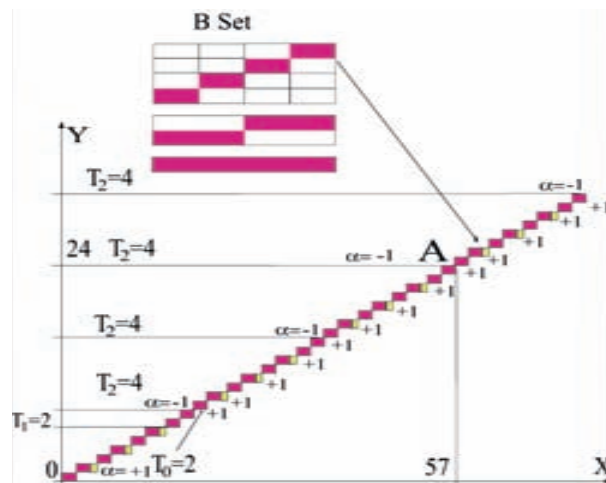
	Parameters (mm)	Pxh	SPxh(d)	SPxh	$\beta(R_1, d, \alpha)$
1	T=0.5, a=5, M=500, G=65, d=10, R ₁ =80	31.110	3.807	0.065	58.635
2	R ₁ =160	96.282	10.496	0.065	161.635
3	a=10	15.508	1.955	0.065	30.114
4	T=1	62.685	7.241	0.13	55.813
5	d=20	21.343	2.660	0.065	40.979
6	d=40	13.925	1.761	0.065	27.124
7	T=1, a=3, d=2, R ₁ =160	1104.52	44.745	0.13	344.879

Соотношение размерностей

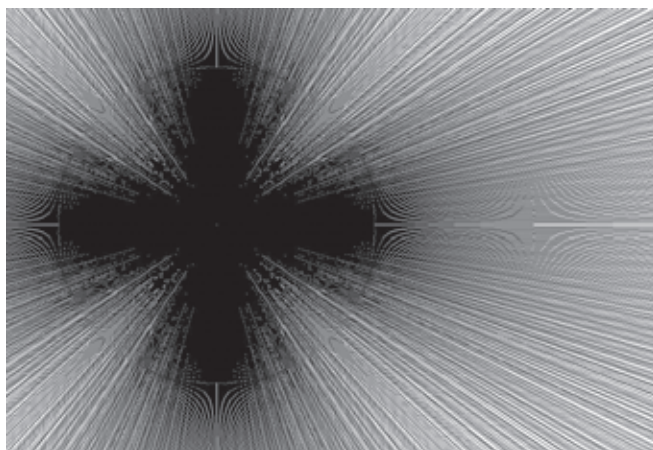
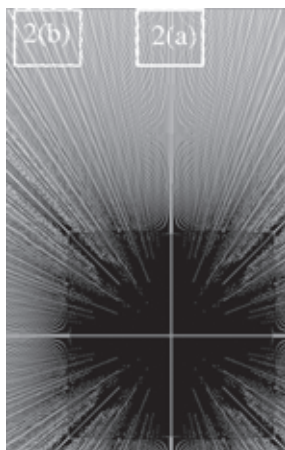
	D_I	r	N	$D_S = D_H = \frac{\ln N}{\ln r}$
 Cantor Set	0	3	2	0.63
 B Set	0	4	2	0.5
 Sierpinski Gasket	1	2	3	1.58

Пример формирования линии OA с координатами (24, 57) и (0, 0)

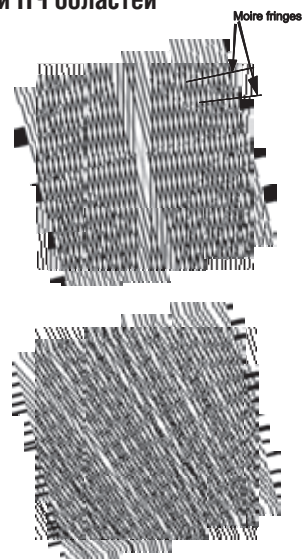
$y = cx + b$ (1),
 $c^{-1} = T_0 + (-1)^{n+a} (1/T_1 + 1/(T_1 T_2) + 1/(T_1 T_2 T_3) + \dots + 1/(T_1 T_2 \dots T_n))$, $n = 0, 1, 2, 3, \dots, n_{max}$; $\alpha = 0, 1$ OA = (1) 2; 2,4 (2)



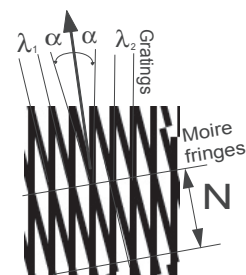
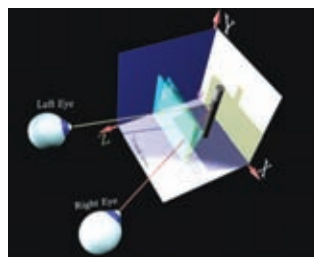
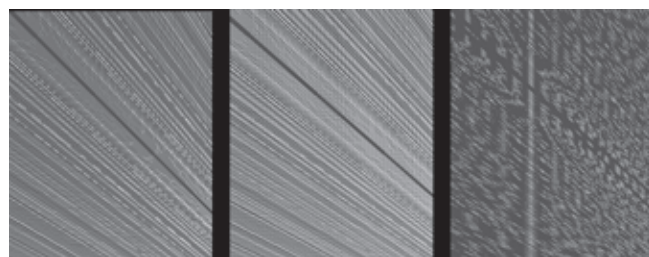
Квадрат и окружность в центре PPSSF с разрешением 2048x1024 pixels, 2a и 2b ВЧ и НЧ области (Holographic properties of PPSSFs)



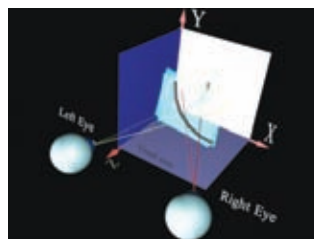
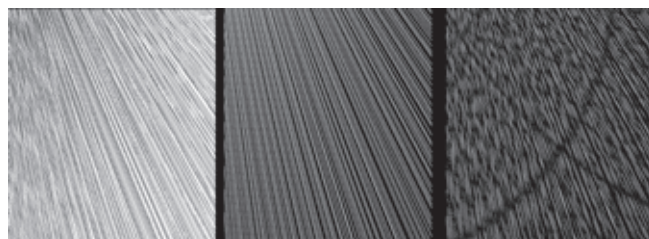
Шумы 2a и 2b ВЧ и НЧ областей



Синтез простейшего I-символа (+Phx)



Синтез простейшего X-символа (±Phx)





НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ 3D ИНДУСТРИИ и основные проблемы распространения стереотехнологий



Г.Н. Усков, ЗДЛига

Научно-техническая конференция «Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе и других отраслях», 23-24 апреля 2009 г.



■ Текущая ситуация

В настоящий момент проблемой является «конкуренция форматов». Нет единой технологии, которая даёт качественное 3D изображение без специальных устройств и доступное для потребителей. Мы не видим решения данной задачи в ближайшие годы.

В 2009 году рынок 3D технологий сделает значительный скачок, и даже кризис не помешает резкому развитию рынка, так как индустрия развлечений ищет новые направления.

Современные системы видео- и фотосъёмки постепенно начинают изменяться в сторону 3D и интерактивных приложений. Одними из основных причин стали развитие Интернета и игр. Постоянно возникают новые проекты.

Именно сейчас в России можно создавать 3D фильмы, продукты и решения мирового уровня, так как ещё не сформировалось технологическое отставание.

Технологии

3D технологии являются гармоничным развитием 2D видеотехнологий, но кроме того, интенсивно развиваются и интерактивность, и взаимодействие с контентом. Отдельно большой интерес представляют системы обратной биологической связи.

Технология 3D делится на несколько взаимодополняющих, но различных направлений: 3D съёмка, обработка 3D контента, воспроизведение 3D контента. На наш взгляд, основной преградой для резкого развития 3D является именно недостаточная распространённость и дороговизна систем воспроизведения для пользователей.

Новинка для потребителей

Наша компания на HDI Show 2009 представила новинку, которая может изменить эту картину и принести 3D во многие дома. Это решение представляет собой комплект из очков 3D Vision от компании NVIDIA и монитора Samsung.

К сожалению, сейчас этот продукт направлен в основном на геймеров (для игр в 3D). Это вызвано тем, что недостаточно (особенно в России) фильмов и приложений, выполненных в 3D. Но уже скоро это решение будет работать с профессиональными приложениями.

Научные разработки и интеграция технологий

Наша компания занимается различными системами 3D&VR. Мы подбираем технологию в зависимости от поставленных задач.



Комплект 3D Vision от компании NVIDIA и монитор SAMSUNG

Мы бы хотели продемонстрировать не только 3D стерео мониторы, но и систему обратной биологической связи, с помощью которой человек может взаимодействовать своим психо-эмоциональным состоянием и биоритмами с 3D приложениями. Данные технологии могут быть реализованы для глубоких погружений в 3D контент.

С помощью «эффекта присутствия» и обратной биологической связи мы докажем, что 3D фильмы значительно больше влияют на человека, чем 2D!

Выводы

Для развития 3D в России требуется популяризация данной технологии среди пользователей, чем активно занимается наша компания.

Появились доступные технологии 3D для дома, которые могут привести к резкому развитию всех направлений 3D.

Наиболее актуальный вопрос ближайших лет – создание 3D фильмов и контента. При этом рынок испытывает недостаток как фильмов 3D, так и новых проектов с использованием 3D эффектов. И процесс будет только ускоряться. Если уже реализуется массовое производство 3D игр, то 3D фильмы и приложения для образова-

ния, науки, тренажёры и прочее будут быстро развиваться в ближайшие годы.

Потребитель уже больше знает о технологиях 3D, что мы видим, участвуя в различных крупных выставках. Теперь посетители уже знают, что и как смотреть, и даже ориентируются в технологиях.

Совместные действия

- Мы надеемся, что в рамках конференции возникнут новые проекты, и участники смогут ускорить развитие новых технологий для широких масс. Особенно важно наладить производство качественного развлекательного 3D контента.
- Наша компания предлагает стереофото- и видеосъёмку, а также 3D анимацию для бизнеса и государства, и мы надеемся, что сможем принять деятельное участие в создании российского 3D кинематографа высокого качества.
- После появления доступных 3D решений для дома встаёт актуальный вопрос о создании 3D телевидения, которое будет всё более востребованным в России, а затем и интерактивного телевидения.
- Формирование Российской 3D ассоциации, которая будет заниматься координацией технологий 3D&VR и популяризировать 3D технологии. ■



Элементы обработки 3D контента

Шестая Международная Конференция “ГОЛОГРАФИЯ ЭКСПО-2009” “HOLOGRAPHY EXPO-2009” Sixth International Conference



Организаторы :

Специализированное предприятие “Голография”;
Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана;
Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН;
ООО “Голография-Сервис”.

The Exhibition Organizers:

Special Enterprise “Holography”;
Bauman Moscow State Technical University;
Science-technological center of unique industry of RAS;
“Holography-Service” Co. LTD.

При поддержке:

Ведущих Университетов России и Академических Институтов РАН,
Федеральной Службы по техническому и экспортному контролю России,
головных профильных организаций Минюста России, ФСБ России, МВД России.

The exhibition is supported by:

The leading Universities of Russia and Academic Institutes of RAS;
Federal service under the technical and export control of Russia,
the head profile organizations of the Ministry of Internal Affairs of Russia,
Ministry of Justice of RF, FSB of Russia, MIA of Russia.

Спонсоры:

СП “Голография”;
ОАО “Научно-производственное объединение “Криптен”;
ЗАО “Голографическая индустрия”;
ООО “Голография-Сервис”
ЗАО “ХолоГрэйт”.

Sponsors:

Special enterprise "Holography";
Joint-Stock Company “NPO “Krypten””;
Joint-Stock Company “Holographic industry”;
Company "Holography-service";
Joint-Stock Company "HoloGrate”

Информационная поддержка:

Журнал “Водяной Знак”
Журнал “Мир техники кино”



1-2 июля 2009 г.
Украина, Киев, отель “Русь”
Ukraine, Kiev, hotel “Rus”
1-2 July 2009

2009



ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА

измерительных голографических наносистем линейных и угловых перемещений

Б.Г. Турухано, д.физ.-мат.н.,
Н. Турухано, к.физ.-мат.н.,
В.В. Добырн, к.т.н., Е.Г. Кормин, В.Е. Кормин, Ю.М. Лавров,
ПИЯФ им. Б.П. Константинова РАН, г. Гатчина,
В.А. Ванин, к.т.н. ОАО «Мособлзнак», г. Фрязино

*«Точные измерения стоят дорого, а неточные
обходятся значительно дороже».*

Г. Форд

■ Введение

Голография в нанотехнологиях

Голография и нанотехнологии, что же в них общего? Это дань моде или нечто большее? Вопрос поставлен, и поставлен правильно, ну а каков ответ? Ответ прост, но в то же время непривычен. Голография является философской основой и научным инструментом нанотехнологии [1–2]. Утверждение, скажем прямо, не очень скромное, но справедливое. Голография, как наука о целостном восприятии Мира во времени и в пространстве, появилась неслучайно. Она явилась на смену механистической теории, согласно которой наш мир представляется суммой отдельных элементов, слабо связанных между собой. Механистическая теория пришла в противоречие с квантовой теорией и теорией относительности и потому себя исчерпала. Более подробно с этими вопросами можно ознакомиться в работах [3–5]. Что такое нанотехнологии? Не будем оригинальны и тоже, вслед за автором статьи «Перспективы нанотехнологии в кинематографии» [6], сошлёмся на американского физика Ричарда Феймана, который в 1959 году предположил, что со временем многие материалы и приборы будут создаваться на молекулярном или даже атомном уровне. Но чтобы манипулировать столь малыми объектами, необходима измерительная и рабочая аппаратура нового поколения. На сегодняшний день создана измерительная аппаратура, позволяющая наблюдать атомарно-молекулярную структуру вещества, а также создавать элементы материи с новыми заданными свойствами. Это всем известные сканирующие туннельные микроскопы и атомно-силовые микроскопы. Эти приборы достаточно сложные

и дорогие, они, действительно, незаменимы при проведении научно-технических разработок. Однако когда речь идёт о промышленном производстве наноструктур, использование такой техники неэффективно с точки зрения стоимости и производительности. В данной статье предлагается вашему вниманию ряд голографических приборов, которые удобно использовать как при создании новых носителей информации в кинотехнике [7], так и в производстве наноструктур. Предлагаемые приборы могут эффективно использоваться в процессе измерений, контроля и аттестации различных наноструктур, поскольку они обладают высокой точностью, разрешением и надёжностью. В основу этих приборов положен разработанный нами метод синтеза апертуры в оптике [2]. Мы научились формировать и записывать требуемый волновой фронт светового поля с заданной точностью. В какой-то степени это похоже на задачи нанотехнологии – формировать новое вещество из отдельных атомов и молекул. Связь тут присутствует – ведь при определённых условиях квант света превращается в электрон. Почему это интересно для кинематографической отрасли? Да потому, что, как справедливо пишет автор статьи [4], «нанотехнологии – это не просто новые материалы и вещи из них, как иногда полагают, это скорее новые сущности, требующие переворота не только в науке и технике, но и в мышлении...» Кинематограф нового поколения также в полной мере будет использовать голографию [7] и нанотехнологии. Одним из возможных вариантов является схема голографического активно-матричного экрана, рассмотренная в [3]. Производство данного экрана потребует создания автоматизированного комплекса для измерения его составных элементов, а также программы их фазировки, как это делается при изготовлении широкоапертурных голографических дифракционных решёток [2]. Разработанные нами методы позволят создать такой измерительный комплекс.

Принципы голографических измерений и области их применения

С открытием и применением лазеров параллельно начали развиваться два направления, претендующие на высокие точности и разрешение. Первое направление – это системы, использующие голографические дифракционные решётки в качестве измерительных элементов, а второе направление – лазерные интерферометры.

По мере проведения большого комплекса исследований и разработок время расставило всё на свои места. Каждое направление заняло свою нишу. Лазерные интерферометры оказались выгодными при измерениях больших длин (больше 1 метра), а системы с голографическими решётками – при длинах до 1 метра. Необходимо отметить, что до сих пор системы на дифракционных решётках являются наиболее востребованными в прецизионном станкостроении и машиностроении, а также во многих направлениях науки и техники.

В России и СНГ высокоточные датчики 0-го и 1-го классов точности на дифракционных решётках выпускаются только в ПИЯФ РАН. Работы в этом направлении ведутся комплексно и охватывают решение следующих задач:

- увеличение длины и точности линейной голографической дифракционной решётки за счёт её бесконтактной записи в интерференционном поле;
- создание высокоточной высокочастотной радиальной голографической дифракционной решётки;
- разработка голографических преобразователей линейных и угловых перемещений 1-го и 2-го классов точности;
- разработка серии высокоточных и высокоразрешающих измерительных систем на базе голографических дифракционных решёток, в которых нуждалась наша промышленность и потребность которой всегда удовлетворялась за счёт импорта. Естественно, что все эти приборы должны были отвечать мировому уровню науки и технологии и быть конкурентоспособными в условиях мировой рыночной экономики, наступившей и в нашей стране без особой экономической и политической подготовки.

Цели и задачи, решаемые с помощью голографических наноизмерительных систем линейных и угловых перемещений

С открытием лазеров параллельно начало развиваться направление измерительных систем, использующих голографические дифракционные решётки в качестве измерительных элементов.

Голографические измерительные системы используют комбинацию из двух решёток. Зазор между двумя решётками очень мал (разность хода всего несколько десятков микрон), поэтому интерференционное поле, образованное между решётками, практически не подвергается влиянию окружающей среды, и поэтому нет необходимости введения поправок на изменения температуры и влаж-

ности, как в случае лазерного интерферометра, который наоборот, отличается большой разностью хода.

Голографический интерференционный метод записи голографических дифракционных решёток оказался самым эффективным методом записи решёток не только с высокой частотой (вплоть до 3 000 лин/мм), но и с возможностью более равномерного распределения штрихов вдоль направления желаемой траектории их перемещения (линии или окружности).

Голографические решётки записываются методом фазированного синтеза отдельных участков интерференционного поля на уникальных устройствах, обладающих разрешением 6 нанометров. Метод фазированного синтеза решётки не ограничивает длину синтезируемой решётки. Благодаря высокой точности голографических дифракционных решёток появилась возможность создания высокоточных измерительных систем линейных и угловых перемещений с наноразрешением, что и является главной задачей при решении всех исследований и разработок. Линейные и радиальные голографические дифракционные решётки, синтезированные на вышеуказанных установках, обладают рекордной точностью, наивысшего «0-го класса» точности.

Были получены первые в мире образцы линейных голографических дифракционных решёток с рекордными характеристиками: длиной $L = 1$ м, периодом 1 мкм, с полным количеством штрихов 1 000 000 штрихов/м, при погрешности $\pm 0,4$ мкм/м.



Рис. 1. Фотография линейной голографической дифракционной решётки ЛГДР с длиной $L = 1200$ мм и частотой 1000 лин/мм [1]

Эти решётки, встроенные в голографический линейный преобразователь, были аттестованы во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева с использованием эталона метра. Результаты испытаний поставили их на первое место по точности среди существующих дифракционных шкал. Погрешность на миллион штрихов оказалась не более $\pm 4 \cdot 10^{-7}$, т.е. меньше периода одного штриха. Сотрудниками ВНИИМ была определена также формула точности голографического преобразователя линейных перемещений:

$\Delta L = \pm(0,02 + 0,4 L/1000)$ мкм, где L – длина решётки в мм.

Получены также двухкоординатные линейные голографические решётки с точностью по двум координатам/100 мм $\pm 0,8$ микрон и первые радиальные решётки с рекордными характеристиками: 162000 и 518400 штрихов на 360° .

Исследования показали, что угловая точность записи радиальных штрихов составила $\pm 0,2$ угловой секунды, а после устранения систематических ошибок получена рекордная точность углового датчика на базе такой решётки $\pm 0,05$ угловых секунд. Во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева на основе такой РГДР создан динамический эталон угла.

Согласно аттестату, выданному сотрудниками ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, среднеквадратическая погрешность радиальной решётки с 518400 штрихов на 360° не превышала 0,08 угловых секунд. До сих пор ещё никому не удалось изготавливать решётки с таким количеством штрихов и такой точностью!



Рис. 2. Фотография радиального голографического диска со средним диаметром штриховой дорожки $\Phi = 180$ мм и $N = 518400$ штрихов/2 π

Однако высокоточные решётки не являются окончательным продуктом в измерительной технике. Они служат лишь основным и необходимым элементом в конструкции измерительных систем линейных и угловых перемещений, определяя их уровень точности. Поэтому на протяжении последних 15 лет ЛГИИС пришлось вести разработки не только по решёткам, но и в области систем самых разных назначений. Был разработан ряд измерительных систем с наноразрешением: преобразователи линейных и угловых перемещений, входящие в 1-ый и 0-ой классы точности, длинномеры, плоскомеры, сферометры, кругломеры, координатно-измерительные машины и т.п. Эти системы работают совместно с персональным компьютером, следовательно, могут быть подключены к автоматическим производственным линиям.

На длинномеры голографические выдан Сертификат ГОССТАНДАРТА РФ на новый тип продукции. Отметим, что на исследования и разработки ЛГИИС по наноизмерительным системам получен 51 патент РФ, США, Англии, Франции, Японии, Швейцарии, Канады, Германии и др. стран.

Измерительные приборы с голографическими решётками различного назначения

Остановимся теперь на тех приборах, которые были изготовлены в ЛГИИС ПИЯФ РАН и которые сохраняют до сих пор мировой уровень. Они по-прежнему нужны отечественной промышленности. Все эти приборы управляются от автономного электронного блока и одновременно связаны с персональным компьютером.

1. Голографический преобразователь линейных перемещений (ЛПП) (рис. 3):

с собственными точными направляющими и следующими характеристиками [8]:

- измеряемая длина L , мм 1000
- формула точности, мкм $\pm (0,02 + 0,4L/1000)$,

где L , мм

- разрешение, мкм 0,01

2. Голографический преобразователь угловых перемещений (УПГ) [9] (рис. 4):

- измеряемый угол, град $n \times 360$
- точность, угл. сек $\pm 0,4$
(после коррекции систематической ошибки $\pm 0,05$)
- разрешение, угл. сек 0,01

3. Длинномер голографический (субмикромметр) (ДГ) [10,11] (рис. 5):

- точность, мкм: ДГ 30/100/200 мм $\pm 0,1 / \pm 0,2 / \pm 0,4$
- разрешение, мкм 0,01

4. Плоскомер голографический (ПсГ) [12] (рис. 6):

- размер измеряемой поверхности неограничен
- точность/100 мм, мкм $\pm 0,2$
- разрешение, мкм 0,01

5. Радиусомер голографический (РГ)

Радиусомер используется для измерения внутренних и внешних диаметров:

- измеряемый диаметр, мм (800–5000)
- точность, мкм ($\pm 10 - \pm 50$)

6. 3D NANO измерительная машина [13] (рис. 7):

- размеры: L_x, L_y, L_z , мм $550 \times 550 \times 200$
- формула точности, мкм $\pm (0,2 + 2,6 L/1000)$,

где L , мм

- разрешение, мкм 0,01
- погрешность измерений по объёму, мкм $\pm 2,5$
- управление: ручное (джойстик), полуавтоматическое; автоматическое

7. Наноизмерительный двухшпиндельный зеркальный гониометр «НАНО ДЗГ-1» (рис. 8):

- точность $\pm 0,25$ угл. сек
(после коррекции $\pm 0,02$)
- дискретность измерения 0,01 угл. сек
- управление: ручное; ЧПУ; от ПК
- скорость вращения шпинделя от 1 угл. сек/сек до 10 угл. мин/сек

– выход в заданный угол по программе с точностью $\pm 0,5$ угл. сек

8. Голографический кругломер (рис. 9 и 10). ■



Рис. 3. Фотография голографического преобразователя линейных перемещений ЛПГ с интерфейсно-дисплейным блоком управления



Рис. 4. Фотография радиальных дисков РГДР и голографических преобразователей угловых перемещений УПГ



Рис. 5. Фотография длинномеров голографических с интерфейсно-дисплейными блоками управления: ДГ-30; ДГ-100; ДГ-200

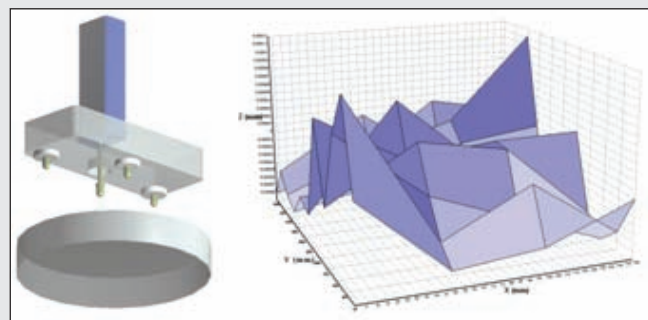


Рис. 6. Плоскомер голографический и картина отклонения от плоскости поверхности размером (XxY) 550x200 мм, сканированная с шагом 50 мм

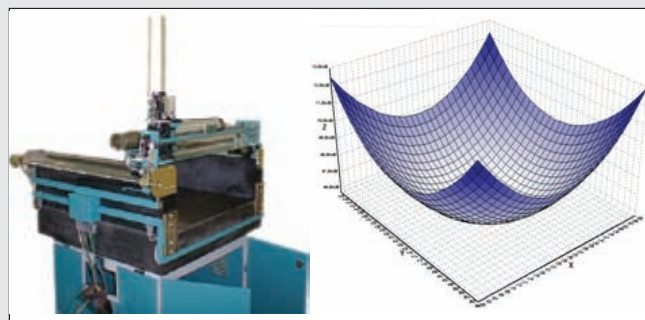


Рис. 7. Вид 3D NANO измерительной машины. Картина сканирования тороидального зеркала с помощью машины «3D NANO КИМ»



Рис. 8. Вид зеркального гониометра «НАНО ДЗГ-1»

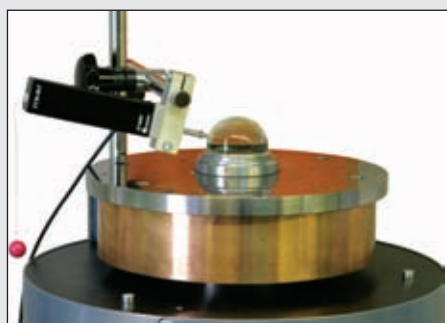


Рис. 9. Вид голографического кругломера

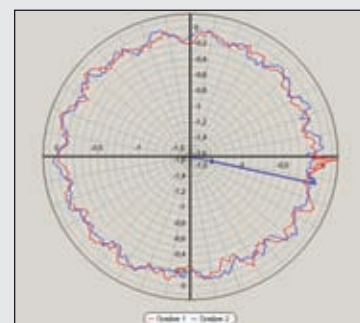


Рис. 10. Сканирование стандартной меры круглости

ЛИТЕРАТУРА

1. Турухано Б.Г. Голографические аспекты памяти // Голографические методы исследований (материалы X Всесоюзной школы по голографии), ЛИЯФ АН СССР, 1978. С. 56–69.
2. Турухано Б.Г., Турухано Н. Синтез апертуры в оптике. Всесоюзный семинар «Юрий Николаевич Денисюк – основоположник отечественной голографии» (сборник трудов) ИТЦ СПб. ГУ ИТМО, 2007. С. 157–161.
3. Ванин В.А. Изобразительная голография: ретроспективный обзор и прогноз. МТК, 2007, № 4. С. 17–22.
4. Ванин В.А. Голографическая Парадигма Мира. МТК, 2007, № 6. С. 15–19.
5. Ванин В.А. Фотография и голография научные инструменты механистического и органистического (целостного) способов мышления, а также восприятия и моделирования окружающего нас мира. МТК, 2008, № 9. С. 10–14.
6. Городников А.С. Перспективы нанотехнологии в кинематографии. МТК, 2007, № 5. С. 16–21.
7. Толчин В.В., Турухано Б.Г. Читально-копировальное устройство с голографическим носителем информации. Патент РФ № 1833012, пр. 04.09.89.
8. Турухано Б.Г., Турухано Н. Датчик линейных перемещений. Патент РФ № 2197713, 2003.
9. Гордеев С.В., Турухано Б.Г. Фотоэлектрическое устройство для измерения угловых перемещений. Патент РФ № 1831937, пр. 26.02.91.
10. Турухано Б.Г., Турухано Н. Микрометрическая головка ТУБОР. Патент РФ № 2032142, 1997.
11. Турухано Б.Г. и др. Измерительный датчик касания на дифракционных решётках. Патент № 2276772, 2006.
12. Турухано Б.Г., Турухано Н., Добырин В.В. Устройство для измерения отклонения от плоскостности поверхности. Патент РФ № 2287776, 2006.
13. Турухано Б.Г., Турухано Н., Добырин В.В., Кормин В.Е. Координатно-измерительная машина. Патент РФ № 2307321, 2007.



О РАЗРАБОТКЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНТЕРФЕРОМЕТРОВ

Власов Н.Г., д.т.н.,
Сторожкин С.А., МГТУ
«Станкин»

Излагаются физические принципы построения нового класса интерферометров, выгодно отличающихся от своих классических аналогов простотой и надёжностью.

■ В научной фотографии и кинематографии часто используются интерференционные измерения, однако принципиально оптические схемы практически всех классических интерферометров были разработаны ещё в начале прошлого века. В то время в качестве источников освещающего излучения использовались только тепловые источники, длина когерентности которых, даже искусственно увеличенная за счёт использования светофильтров, составляла несколько десятков микрон. Значительно ограниченной для таких источников была и область пространственной когерентности – как поперечная, так и продольная. Поэтому необходимым условием образования и наблюдения интерференционной картины было выравнивание длин оптических путей в обоих плечах интерферометра так, чтобы их разность была равна нулю [1–6]. Указанное обстоятельство значительно усложнило конструкцию интерферометров, а также их сборку, юстировку и эксплуатацию. Ситуация незначительно изменилась и в первые десятилетия после появления лазеров. Необходимые для интерференционных измерений лазеры, работающие в одномодовом режиме, были достаточно громоздкими и дорогостоящими, и физические принципы построения интерферометров и их принципиальные оптические схемы не пересматривались.

В течение нескольких последних лет были разработаны и появились в продаже малогабаритные и недорогие лазеры. Их излучение обладает когерентными свойствами, достаточными для того, чтобы отказаться от выравнивания оптических путей в различных плечах интерферометра. По нашему мнению, данное обстоятельство позволяет разработать существенно более простые и компактные интерферометры. Кроме того, для обеспечения возможности их работы не требуются специализированные стенды, предназначенные для защиты от мешающего действия бытовых и промышленных вибраций.

На рис. 1 в качестве примера показана принципиальная схема интерферометра, предназначенного для измерения перемещений. Он похож на интерферометр Майкельсона, две ветви которого объединены в одну. Луч лазера 1 направляется на светоделитель – куб-

призму 2, на правую грань которой нанесено полупрозрачное покрытие 3. Лучи лазера, отражённые от 3 и от подвижного зеркала 4 куб-призмой 2, смешиваются и направляются на фотоприёмник 5. Как и в интерферометре Майкельсона, величина смещения зеркала 4 определяется по числу интерференционных полос, зарегистрированных фотоприёмником 5, соединённым с компьютером для автоматизированной обработки экспериментальных данных.

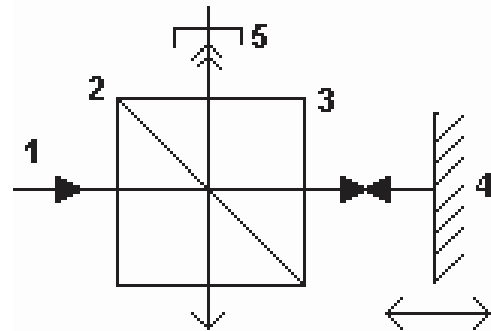


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема интерферометра, предназначенного для измерения перемещений: 1 – луч лазера, 2 – куб-призма, 3 – полупрозрачное покрытие, 4 – подвижное зеркало, 5 – фотоприёмник

Приведённая принципиальная схема может рассматриваться как базовая, на основе которой могут создаваться интерферометры другого назначения. Так, если луч лазера 1 расширить коллиматором, а фотоприёмник 5 заменить на ПЗС-матрицу цифрового аппарата, то подвижное зеркало 4 можно заменить на неподвижное, помещённое в интерферометр для контроля плоскостности его поверхности сравнением с опорной поверхностью 3.

Несколько усложнённая, по сравнению с предыдущей, принципиальная схема, показанная на рис. 2, представляет собой оптическую часть цифрового спекл-интерферометра, предназначенного для изучения механических, тепловых и других деформаций диффузно-отражающего объекта 4. Коллимированное излучение лазера 1 направляют на уже описанную куб-призму 2 с дополнительным полупрозрачным покрытием 3. Изображение исследуемого объекта 4 линзой 6 фокусируется на поверхность ПЗС-матрицы 5. Туда же попадает и опорное волновое поле, отражённое от 3. Диафрагмой 7 устанавливают средний размер элементов

спекл-структуры, достаточный для того, чтобы быть разрешённым ПЗС-матрицей.

Изображение исследуемого объекта вводится в компьютер дважды – до и после приложения к нему дефор-

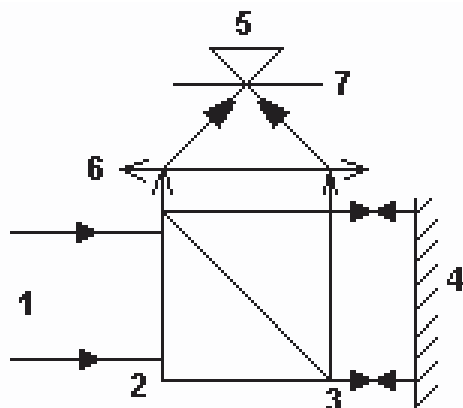


Рис. 2. Принципиальная схема оптико-цифрового спекл-интерферометра: 1 – луч лазера, 2 – куб-призма, 3 – полупрозрачное покрытие, 4 – исследуемый объект, 5 – ПЗС-матрица, 6 – линза, 7 – диафрагма

мирующей нагрузки. Затем известными методами компьютерной обработки получают и выводят на дисплей цифровой аналог интерферограммы [4], позволяющий рассчитать деформацию исследуемого объекта.

Приведённые примеры показывают целесообразность и возможность разработки нового класса двулучевых интерферометров с совмещёнными опорной и объектной ветвями. От своих классических аналогов они будут выгодно отличаться простотой, надёжностью и виброзащищённостью.

Изложенные идеи проверялись экспериментально с источником излучения полупроводниковым лазерным диодом HL6512MG фирмы «Optnext». По паспорту его мощность 60 мВт, длина когерентности около 10 м. Была собрана оптическая схема в соответствии с рис. 1. Контрастные интерференционные полосы наблюдались до разности оптических путей 1,5 м (установить большую разность не позволяла длина виброзащитного стенда). Таким образом, современные лазеры действительно позволяют реализовать интерферометры нового типа, предлагаемые в данной статье.

Работа поддержана РФФИ, грант № 09-07-00502А. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Нагибина Н.М. Интерференция и дифракция света. Л.: Машиностроение, 1974. С. 359.
2. Коломийцев Ю.В. Интерферометры. Основы инженерной теории. Применение. Л.: Машиностроение, 1976. С. 295.
3. Скоков И.В. Оптические интерферометры. М.: Машиностроение, 1979. С. 129.
4. Laser speckle and related phenomena/ ed by j.Goodman, Springer, 1998. P. 286.
5. Кужов В.И., Ильных С.П. Компьютерная интерферометрия. Новосибирск, НГТУ, 2004. С. 252.
6. Interferometry, in Encyclopedia of Modern Optics/ ed by B.D.Guenther. V 2. 2005. P. 351–387.

Шестая Международная Конференция “ГОЛОГРАФИЯ ЭКСПО-2009” “HOLOGRAPHY EXPO-2009” Sixth International Conference



Организаторы :

Специализированное предприятие “Голография”;
Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана;
Научно-технологический центр уникального приборостроения РАН;
ООО “Голография-Сервис”.

Спонсоры:

СП “Голография”;
ОАО “Научно-производственное объединение “Криптен”;
ЗАО “Голографическая индустрия”;
ООО “Голография-Сервис”
ЗАО “ХолоГрэйт”.

1-2 июля 2009 г.
Украина, Киев, отель “Русь”
Ukraine, Kiev, hotel “Rus”
1-2 July 2009

2009



О.Н. Раев, к.т.н.,
МКБК

**К 55-летию
Московского
конструкторского
бюро
киноаппаратуры**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ киносъёмочной аппаратуры

■ Страницы истории МКБК

Изобретённый в 1895 г., кинематограф очень быстро распространился по всему миру. В России первое время киносъёмочная аппаратура не производилась, а ввозилась из-за границы, в основном, французского производства. Отдельные попытки отечественных изобретателей (В.А. Дебюк, К. Пружинский, А. Самарский и др.) создать киносъёмочные аппараты не получали развития и не доходили до создания действующего киноаппарата. Дальше ремонта киноаппаратов в мастерских отечественных киностудий дело не шло.

Только с конца 20-х гг. XX века бурное развитие советской промышленности захватило и кинотехническую отрасль. К 30-м гг. в стране было развёрнуто промышленное производство киноплёнок; в 1929 г. создан Научно-исследовательский кинофотоинститут (НИКФИ); в 1931 г. образован Ленинградский институт киноинженеров (ЛИКИ) на базе факультета инженеров звукового кино Ленинградского учебного комбината высшей и средней кинофототехники.

В это же время стали появляться и первые конструкции отечественной киносъёмочной аппаратуры. Эти аппараты создавались в ремонтных мастерских киностудий — на Киевской киностудии, на Ленфильме, на киностудии хроникально-документальных фильмов, на киностудии им. М. Горького и др. К разработке киносъёмочных аппаратов подключились также сотрудники НИКФИ и ЛИКИ. В 1933 г. киноэлектромеханический завод «МЭМКАЗ»,

выполнявший ремонт кинопроекторной аппаратуры и выпуск звуковых приставок для кинопроекторов, реорганизован в Московский опытный завод «Кинап», перед сотрудниками которого была поставлена задача разработки и изготовления мелких серий киносъёмочной аппаратуры.

В результате был накоплен опыт киносъёмочного аппаратостроения и сформировались специалисты: В.Д. Константинов, Г.А. Шмидт, Д.М. Зенин, Г.В. Меринг, С.И. Никитин и многие другие, что позволило уже в предвоенные годы наладить серийный выпуск киносъёмочных аппаратов. Стали появляться и методики расчёта деталей и узлов киноаппаратуры. Так, в 1938 г. опубликовано первое кинотехническое учебное пособие «Детали и механизмы киноаппаратуры» Сергея Михайловича Проворнова (ЛИКИ) [1].

К 50-м гг. конструирование киносъёмочных аппаратов, ставших сложными изделиями, состоящими из высокоточной оптики, прецизионной механики, электроники, вышло на качественно новый уровень сложности. А непрерывно усложняющийся киносъёмочный процесс постоянно требовал совершенствования эксплуатационных характеристик киноаппаратов. Возникла также потребность в новых киносъёмочных аппаратах, специализированных для разных видов киносъёмки. Кроме того, появились новые виды кинематографа с новыми изобразительными возможностями за счёт использования экранов с большим угловым охватом. Так, в 1956 г. был

снят на 35-мм киноплёнку с помощью анаморфотной оптики первый советский широкоэкранный кинофильм «Илья Муромец».

Такой прогресс в развитии кинотехники был бы невозможен без развития теории проектирования киносъёмочной аппаратуры. Действительно, в это время активно проводятся научные исследования по кинотехнике; публикуются монографии и учебники по проектированию киноаппаратуры [2–7], подготовленные такими учёными, как Е.М. Голдовский (ВГИК), И.С. Голод (ЛИКИ), А.М. Мелик-Степанян (ЛИКИ), С.М. Проворнов (ЛИКИ), Б.И. Радчик (МКБК) и др.

Для воплощения результатов научных исследований в конкретные современные кинотехнические изделия в стране были созданы условия и для выполнения регулярных конструкторских работ на новом профессиональном уровне, реорганизована структура кинопромышленности. В том числе, 6 мая 1954 г. Совет Министров СССР постановил создать Конструкторское бюро киноаппаратуры в г. Москве (МКБК) по конструированию съёмочных и проекционных киноаппаратов, а также вспомогательного операторского оборудования.

Первым директором МКБК был назначен Антон Гаврилович Кашехлебов, который сумел за короткий срок создать научно-техническое предприятие, способное успешно решать задачи, выдвигаемые стремительно развивающимся кинематографом.

При проектировании новой киносъёмочной аппаратуры специалисты МКБК использовали опыт предыдущих разработок, технические достижения зарубежных производителей киноаппаратуры и накопленный в отрасли научный потенциал. Проводились и собственные научно-исследовательские работы по совершенствованию конструкций узлов и деталей киноаппаратов. Для этого были созданы:

- оптический отдел (руководитель отдела Юлий Мартынович Британ), сотрудники которого проектировали и исследовали оптические системы киносъёмочных аппаратов, базируясь на подробно разработанной к тому времени теории оптических систем;
- расчётный сектор (руководитель сектора Пётр Васильевич Пахомов), выполнявший кинематические, кинестатические и динамические расчёты механических узлов киноаппарата, в первую очередь, грейферных механизмов.

В результате, в 60-х гг. конструкторская группа МКБК, руководимая Б.И. Радчиком и С.И. Никитиным, создала 35-мм киносъёмочный аппарат «Мир» для павильонных съёмок, нашедший признание и широкое применение на киностудиях страны. Например, кинофильм «Девять дней одного года» и многие другие известные фильмы были сняты этим киноаппаратом.

Для съёмки первого в стране широкоформатного фильма «Повесть пламенных лет» конструкторская группа Г.А. Шмидта в короткие сроки разработала в 1960 г. синхронный павильонный киноаппарат 70СК, а конструкторская

группа Е.И. Лейтеса в 1961 г. – скоростной аппарат для комбинированных съёмок 70КСК.

В 1961 г. специалисты МКБК под руководством С.И. Никитина создали ручной киноаппарат 1КСШР, в 1966 г. – павильонный аппарат «Россия» и в 1973 г. – натуральный аппарат «Берёзка». Съёмки таких фильмов, как «Война и мир», производились с помощью этих киносъёмочных аппаратов.

Для телевидения конструкторами, возглавляемыми Е.П. Бычковым, были разработаны ручной 16-мм киносъёмочный аппарат 16СП, синхронный павильонный киноаппарат 16СК и позже киноаппарат 16СКМ с телевизионным визированием для съёмок многокамерным методом (ведущий конструктор А.И. Терентьева).

Для синхронных репортажных съёмок в условиях интерьеров в 1963 г. был спроектирован штативный синхронный 35-мм киносъёмочный аппарат «Эра» (ведущий конструктор В.Ф. Гордеев). Этим киноаппаратом записывались все государственные мероприятия.

В 1965 г. специалисты МКБК разработали 16-мм ручной киносъёмочный аппарат «Кинор» модель 16СХ (ведущий конструктор В.Ф. Гордеев), который по техническим характеристикам на момент создания и в течение ряда последующих лет превосходил все зарубежные аналоги. Впоследствии была проведена модернизация этого киноаппарата, и две его модели 16СХ-М и 16СХ-2М выпускались заводом «Москинап» длительное время для отечественных и зарубежных потребителей.

С 1964 г. по 1974 г. МКБК совместно с НИКФИ разработало линейку киносъёмочных аппаратов для производства стереоскопических фильмов по системе «Сtereo-70»: для павильонных съёмок 70СК-Д (ведущий конструктор С.И. Никитин), для натуральных съёмок 1СШН-Д (ведущий конструктор А.А. Соснов) и ручной 1КСШРУ-Д (ведущий конструктор А.И. Терентьева).

Дальнейшее совершенствование киносъёмочной аппаратуры могло происходить только за счёт оптимизации всех параметров киноаппарата, например, снижение уровня звука киносъёмочного аппарата при одновременном уменьшении его массы, а для этого была необходима разработка математических моделей. Монографии по киносъёмочной аппаратуре того времени [8–10] либо носили описательный характер, либо фиксировали уже известные методики расчётов киноаппаратуры. Поэтому в середине 70-х гг. в МКБК был создан научно-исследовательский отдел, длительное время возглавляемый Львом Ивановичем Офицеровым. Сотрудники научно-исследовательского отдела совместно со специалистами НИКФИ и ЛИКИ провели многочисленные исследования, носившие прикладной характер. Все найденные новые технические решения проверялись экспериментально и при положительных результатах реализовывались в конструкциях новых киноаппаратов.

Благодаря проводимым исследованиям МКБК в 1974 г. завершило разработку 35-мм скоростного киноаппарата

парата «Темп» (ведущий конструктор В.С. Казаков). При весе 12 кг аппарат имел зеркальный obtюратор, диапазон скоростей до 150 кадр/с, постоянство экспозиции при плавном изменении скорости съёмки. Киноаппарат успешно использовался при съёмке художественных, научно-популярных и спортивных фильмов. Им были сняты многие спортивные картины, в том числе кинофильм «Хоккей против хоккея» и кинолетопись «Олимпиада-80».

В конце 70-х гг. был создан новый ручной киносъёмочный аппарат ЗКСР (ведущий конструктор Л.З. Каплан) с углом открытия obtюратора 180°, синхронным электроприводом с кварцевой стабилизацией, встроенным экспониметрическим устройством и уровнем звука около 42 дБ при весе 6 кг.

К началу 80-х гг. стало очевидным, что существовавшие представления о характере преобразований изображения в кинематографе, включая преобразования в киносъёмочном аппарате, требуют глубокого теоретического осмысления, без которого невозможно дальнейшее совершенствование кинотехники и создание новых кинематографических систем. За научную основу была принята теория систем и преобразований в оптике, творческая переработка которой М.В. Антипиным, О.Ф. Гребенниковым, Н.К. Игнатьевым, В.Г. Комаром и многими другими учёными позволила сформировать теорию преобразования сигналов в кинематографе. В 1982 г. О.Ф. Гребенников (ЛИКИ) обобщил эти исследования в монографии «Основы записи и воспроизведения изображения (в кинематографе)» [11].

Новые теоретические предпосылки позволили разработать обоснованные требования к основным узлам киносъёмочного аппарата и на основе этих требований проводить оптимизацию параметров с помощью математического моделирования.

Рассмотрим одно из направлений, выполненных в МКБК [12, 13].

Расчёт obtюратора киносъёмочного аппарата

Как известно, запись изображения в киносъёмочном аппарате осуществляется с помощью киноплёнки или светочувствительной матрицы. При этом киносъёмочный аппарат выполняет дискретизацию киноизображения по времени с помощью obtюратора в аппаратах, записывающих киноизображение на киноплёнку, или так называемого «электронного затвора» в видеокамерах.

Пусть входной сигнал, формируемый киносъёмочным объективом в плоскости светочувствительного слоя киноплёнки или матрицы, описывается функцией $E'_{BX}(y, z, t)$, где y и z – пространственные координаты в правой декартовой прямоугольной системе координат с началом координат в центре кадрового окна и следующим направлением осей (рис. 1): ось Ox – вдоль оптической оси в сторону объектива, ось Oy – горизонтально в плоскости кадрового окна, ось Oz – вертикально в плоскости кадрового окна.

В результате дискретизации киноизображения по времени вместо непрерывного входного сигнала получим серию последовательных отдельных кинокадров:

$$E_k(y, z) = \int_{kT_c}^{kT_c+t_3} E'_{BX}(y, z, t) E'_0(t - kT_c) dt, \quad (1)$$

где $T_c = \frac{1}{v_c}$ – период киносъёмки, v_c – частота киносъёмки, t_3 – время экспонирования одного кадра, k – номер кадра киноизображения, $E'_0(t)$ – характеристика obtюрации киносъёмочного аппарата (рис. 2).

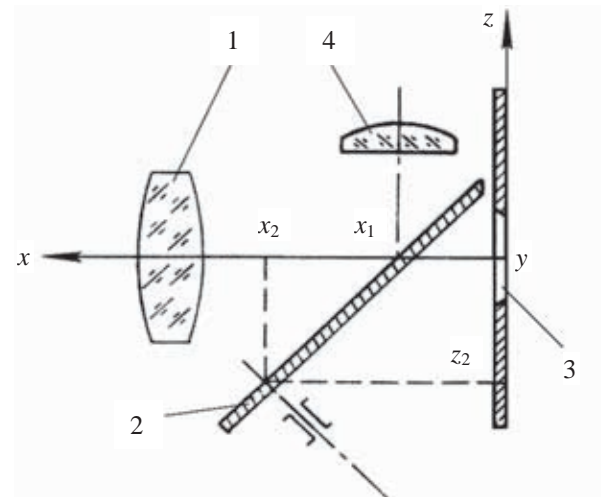


Рис. 1. Принятая система координат: 1 – объектив, 2 – obtюратор, 3 – кадровое окно, 4 – коллектив визира

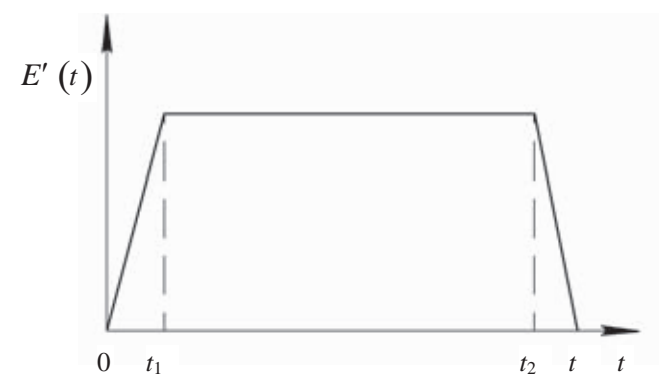


Рис. 2. Характеристика obtюрации киносъёмочного аппарата

Характеристика obtюрации $E'_0(t)$ представляет собой зависимость освещённости в точке $K(0, y_3, z_3)$ кадра изображения равномерно светящейся элементарной площадки от времени в течение экспонирования кадра и описывает импульсную реакцию obtюратора как фильтра временных частот. В общем случае характеристика obtюрации $E'_0(t)$ различна для разных точек кадра и даже длительности открытия и закрытия светового потока obtюратором для внеосевых точек кадра отличаются друг от друга из-за наличия толщины у края рабочей лопасти obtюратора.

Рассмотрим световой конус, выходящий из объектива и собирающийся в точке $K(0, y_3, z_3)$. За основание рассматриваемого светового конуса примем выходной зрачок D объектива, расположенный на расстоянии p от плоскости киноплёнки. Учтём влияние виньетирующих диафрагм на форму светового конуса, для чего достаточно знать размеры и положение выходных окон объектива. Поскольку в большинстве киносъёмочных объективов происходит двухстороннее виньетирование косых пучков, то световой пучок, выходящий из киносъёмочного объектива и сходящийся в точке кадрового окна, опишется, согласно аналитической геометрии, системой неравенств:

$$\begin{cases} a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{13}xz + 2a_{23}yz + 2a_{14}x + 2a_{24}y + 2a_{34}z + a_{44} \leq 0 \\ \bar{a}_{11}x^2 + \bar{a}_{22}y^2 + \bar{a}_{33}z^2 + 2\bar{a}_{12}xy + 2\bar{a}_{13}xz + 2\bar{a}_{23}yz + 2\bar{a}_{14}x + 2\bar{a}_{24}y + 2\bar{a}_{34}z + \bar{a}_{44} \leq 0 \\ \tilde{a}_{11}x^2 + \tilde{a}_{22}y^2 + \tilde{a}_{33}z^2 + 2\tilde{a}_{12}xy + 2\tilde{a}_{13}xz + 2\tilde{a}_{23}yz + 2\tilde{a}_{14}x + 2\tilde{a}_{24}y + 2\tilde{a}_{34}z + \tilde{a}_{44} \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

где коэффициенты a_{ij} , \bar{a}_{ij} , \tilde{a}_{ij} определены и подробно рассмотрены в [13], при этом i и j меняются от 1 до 4.

Для описания траектории движения рабочей кромки (край лопасти обтюратора, который пересекает световой пучок, направляемый объективом в точку $K(0, y_3, z_3)$ кадра) обтюратора возьмём две координаты, характеризующие его положение в пространстве (см. рис. 1):

$K_1(x_1, 0, 0)$ – точка пересечения оптической оси киносъёмочного объектива рабочей плоскостью обтюратора,

$K_2(x_2, 0, z_2)$ – точка пересечения оси вращения обтюратора рабочей плоскостью обтюратора.

Под рабочей плоскостью обтюратора будем понимать плоскость дискового обтюратора, проходящую через рабочую кромку и перпендикулярную оси вращения обтюратора (зеркальную поверхность обтюратора).

Если в киносъёмочном аппарате реализовано боковое расположение обтюратора, то необходимо развернуть принятую систему координат вокруг оси Ox на 90° в соответствующую сторону.

Тогда положение рабочей кромки дискового обтюратора в пространстве определится следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} z_2x - (x_2 - x_1)z - x_1z_2 = 0 \\ y \sin \psi \cdot \operatorname{tg} \varphi - z + z_2 = 0, \end{cases} \quad (3)$$

где $\psi = \operatorname{arctg} \left(\frac{z_2}{x_2 - x_1} \right)$ – угол между оптической

осью киносъёмочного объектива и линией, проходящей через точки $K_1(x_1, 0, 0)$ и $K_2(x_2, 0, z_2)$; φ – угол поворота обтюратора.

В случае конического обтюратора дополнительно примем, что его рабочие кромки пересекают оптическую ось киносъёмочного объектива в точке $K_3(x_4, 0, 0)$. А положение рабочей кромки конического обтюратора в пространстве определится системой уравнений:

$$\begin{cases} y = \frac{(x - x_4) \cos \varphi}{(1 - \sin \varphi) \cos \psi} \\ y = \frac{(z \operatorname{tg} \psi - z_2 \operatorname{tg} \psi + x_2 - x_4) \cos \varphi}{(\sin \varphi \cdot \operatorname{tg}^2 \psi + 1) \cos \psi} \end{cases} \quad (4)$$

Совместное решение системы неравенств (2) и системы уравнений (3) или (4) (в зависимости от типа обтюратора) позволяет определить область G светового пятна в плоскости обтюратора, которая соответствует световому пучку, пропускаемому обтюратором на киноплёнку или матрицу. Поскольку в системы уравнений (3) и (4) входит как параметр угол поворота обтюратора

φ , то площадь светового пятна также зависит от угла поворота обтюратора φ , т.е. $G = f(\varphi)$, а следовательно, и от времени t , так как $t = \frac{\varphi}{2\pi\nu_c}$.

Площадь светового пятна в рабочей плоскости обтюратора, соответствующая световому пучку, пропускаемому обтюратором на киноплёнку или матрицу, определяется двойным интегралом:

$$S = \iint_G \sqrt{1 + \left(\frac{\partial x}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial z} \right)^2} dydz, \quad (5)$$

где $\frac{\partial x}{\partial y}$ и $\frac{\partial x}{\partial z}$ – частные производные уравнения ра-

бочей плоскости обтюратора.

Так как в нашем случае уравнение рабочей плоскости обтюратора имеет вид:

$$x = \frac{(x_2 - x_1)z}{z_2} + x_1z_2, \quad (6)$$

то площадь светового пятна в рабочей плоскости равна:

$$S = \iint_G \sqrt{1 + \left(\frac{x_2 - x_1}{z_2} \right)^2} dydz. \quad (7)$$

Зависимость площади светового пятна, определяемой из уравнения (7), от угла поворота обтюратора φ позволяет найти характеристику обтюрации:

$$E'_0(\varphi) = CS(\varphi), \quad (8)$$

где C – константа, определяемая из условия нормирования характеристики обтюрации.

Рассмотренная математическая модель obtюратора позволяет численными методами на компьютере выполнять поиск оптимальных решений и размеров конструкции obtюратора.

Преобразование Фурье характеристики obtюрации позволяет получить временную частотную характеристику киносъёмочного аппарата [11]:

$$K(\nu) = \int_{-\infty}^{\infty} E'_0(t) \exp(-i2\pi\nu t) dt, \quad (9)$$

где ν – частота, i – мнимая единица, а затем проанализировать возможные искажения киноизображения, возникающие в результате его дискретизации по времени, что подробно проделано в [11, 13–15].

Интегрируя характеристику obtюрации, получаем величину эффективного времени экспонирования кадра:

$$t_{\text{эф}} = \int_0^{t_a} E'_0(t) dt, \quad (10)$$

а следовательно, и экспозиционные характеристики киноаппарата, причём, как показали расчёты, эффективное время экспонирования $t_{\text{эф}}$ зависит не только от конструкции obtюратора, угла раскрытия obtюратора α_0 , взаимного расположения зеркальной лопасти obtюратора и конических шторок, но и от толщины рабочих кромок obtюратора.

Только в случае, когда край рабочей лопасти obtюратора не имеет толщины, эффективное время экспонирования $t_{\text{эф}}$ составляет:

$$t_{\text{эф}} = \frac{\alpha_0}{360^\circ} \cdot \frac{1}{\nu_c}. \quad (11)$$

Разработанная математическая модель obtюратора позволяет также делать расчёты угла предварительного закрытия β obtюратора, равного углу поворота obtюратора за время пересечения рабочей кромкой лопасти obtюратора светового потока, направляемого киносъёмочным объективом во всё кадровое окно. Тогда угол $\alpha_{\text{дв}}$ поворота obtюратора, соответствующий времени перемещения киноплёнки на шаг кадра грейферным механизмом, определяется следующим образом:

$$\alpha_{\text{дв}} \leq 360^\circ - \alpha_0 - \beta. \quad (12)$$

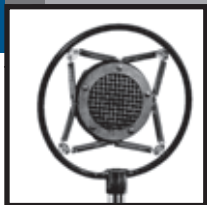
Заключение

Разработанные научные методики и предыдущий конструкторский опыт позволяют МКБК и сегодня создавать передовую киносъёмочную аппаратуру.

В настоящее время кинематографическая отрасль работает в условиях широкого внедрения цифровых технологий в кинематографические процессы и стоит на пороге перехода к объёмному кинематографу. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Проворнов С.М. Детали и механизмы киноаппаратуры. Л.: ЛИКИ, 1938.
2. Голдовский Е.М. Введение в кинотехнику. М.: Госкиноиздат, 1947.
3. Проворнов С.М. Детали и механизмы киноаппаратуры. М.: Госкиноиздат, 1947.
4. Голод И.С. Киносъёмочная аппаратура. М.: Госкиноиздат, 1951.
5. Радчик Б.И. Киносъёмочные аппараты и опоры к ним // Киносъёмочная техника / под ред. Е.М. Голдовского. М.: Госкиноиздат, 1952. С. 298–390.
6. Голдовский Е.М. Основы кинотехники. М.: Искусство, 1958.
7. Мелик-Степанян А.М., Проворнов С.М. Детали и механизмы киноаппаратуры. М.: Искусство, 1959.
8. Гордийчук И.Б. Советская киносъёмочная аппаратура. М.: Искусство, 1966.
9. Кулагин С.В. Киносъёмочная и кинопроекторная аппаратура. М.: Высшая школа, 1967.
10. Гребенников О.Ф. Киносъёмочная аппаратура. Л.: Машиностроение, 1971.
11. Гребенников О.Ф. Основы записи и воспроизведения изображения (в кинематографе). М.: Искусство, 1982.
12. Раев О.Н. Способы оценки пространственного сдвига киноплёнки в киносъёмочной аппаратуре. Обзорная информация. М.: НИКФИ. Вып. 1(92). 1987.
13. Раев О.Н. Методика проектирования obtюраторов киносъёмочных аппаратов: Обзор. М.: НИКФИ. Вып. 5(112). 1989.
14. Раев О.Н. Киносъёмка движущихся автомобилей // МТК, 2008. № 8. С. 10–13.
15. Раев О.Н. Киносъёмка телевизионных изображений // МТК, 2008. № 10. С. 5–9.
16. Перепицай В.В., Гордеев В.Ф., Раев О.Н. Техника для съёмочных процессов // МТК, 2008. №10. С. 30–31



А.С. Мелкумов,
ОАО «НИКФИ»

СТЕРЕОСЪЁМКА В ЦИФРОВОМ ФОРМАТЕ

■ Существует множество технологических решений для цифровой стереосъёмки, которые можно разделить на две группы по принципиальной оптической схеме. Это съёмка на перпендикулярных осях через полупрозрачное зеркало и съёмка расположенными рядом на одном горизонте камерами на параллельных или конвергированных осях. В первом случае эти системы, как правило, громоздки и имеют плохую эргономику. Во втором – система имеет большой базис съёмки (межцентровое расстояние между объективами камер), диктуемый естественными габаритами камер.

Величина базиса съёмки влияет на расстояние между ближней и дальней границами снимаемой сцены. Аналогично глубине резко изображаемого пространства в фотографии, эта глубина пространства, которая может комфортно восприниматься с экрана. Чем больше величина базиса съёмки, тем меньше такая глубина, тем дальше от камеры должна отстоять передняя граница воспроизводимого пространства, если композиция имеет большую протяжённость. Одним расхожим заблуждением является то, что базис съёмки должен соответствовать усреднённому базису зрения – 65 мм. Это соответствовало бы истине, если бы мы наблюдали изображения объектов на экране в их реальных масштабах. В действительности же на киноэкране мы наблюдаем изображения с увеличенным масштабом. В этом случае базис съёмки, равный базису зрения, будет считаться увеличенным базисом. Увеличенный базис съёмки создает эффект миниатюризации изображения. Эмпирически было определено: чем больше масштаб изображаемых объектов относительно реального масштаба, тем меньше должен быть базис стереосъёмки V_c :

$$V_c = V_z / K_m,$$

где: V_c – базис стереосъёмки;

V_z – базис зрения;

K_m – коэффициент изменения масштаба изображаемых объектов по отношению к их реальным размерам.

Непременным условием для стереосъёмки людей, особенно их средних и крупных планов, является, как минимум, двукратное уменьшение величины базиса съёмки относительно величины усреднённого базиса зрения (65 мм). В противном случае, мы будем наблюдать на экране эффект миниатюризации людей.

После проведения анализа всех предыдущих систем цифровой стереосъёмки с учётом требований к стереографике, специалисты лаборатории стереокинематографа ОАО «НИКФИ» разработали технологию стереосъёмки

в цифровом формате HDV с последующим форматированием отснятого материала для изготовления пакетированного MFX файла цифровой кинопроекции (авторы проекта А. Мелкумов и С. Рожков).

В основе технологии лежит применение специально разработанного комплекса для двухкамерной синхронной цифровой стереосъёмки. После тщательной экспертизы и тестовых испытаний в качестве базовой модели была выбрана цифровая камера Sony HDR-NC1E формата HDV. На рынке видеоаппаратуры эта была единственная модель, имеющая порт внешней синхронизации, габариты которой позволяли сконструировать оптическую насадку для двукратного уменьшения базиса съёмки до 34 мм. При этом малые габариты камер позволили разместить их на столь близком расстоянии, когда межзрачковое расстояние видеолуп равно среднему базису зрения (68 мм), что превращает их в биноклярную лупу. Это позволяет оператору наблюдать при съёмке прямое объёмное изображение. В настоящее время модель снята с производства, но на смену ей пришла новая модель Sony HVR-A1E, абсолютно идентичных габаритных размеров и позиционируемая как камера профессионального класса.

Синхронизация камер производится через Lance port внешним синхронизатором. Пульт управления позволяет синхронно включать и выключать камеры, включать и выключать запись, управлять синхронным масштабированием изображения объектов и наводкой на резкость в режиме ручного управления резкостью. Многоуровневый интерфейс дисплея информирует оператора о вышеперечисленных режимах управления синхронизацией и показывает величину рассинхронизации в миллисекундах. Для камеры была разработана и изготовлена специальная оптическая насадка. С помощью этой насадки можно изменять базис съёмки дискретно с 68 до 34 мм. Уменьшенный базис съёмки позволяет вести съёмку без эффекта миниатюризации во всём диапазоне фокусных расстояний и даже использовать зуммирование объективов.

Наблюдаемое в зале изображение располагается в двух зонах – в заэкранной и предэкранной. Плоскость, которая разделяет пространственное изображение на эти зоны и которая проходит через плоскость экрана, называется плоскостью рампы, или плоскостью нулевых параллаксов потому, что одноимённые точки изображения, воспринимаемые в этой плоскости, слиты в одно изображение и имеют нулевой параллакс. Одноимённые точки изображения объекта, воспринимаемого в заэкранном пространстве, имеют положительный параллакс, а одно-

имённые точки изображения, воспринимаемого в предэкранном зальном пространстве, будут иметь отрицательный параллакс.

Так как в нашем случае съёмка ведётся на параллельных осях, точкам нулевого параллакса соответствуют изображения объектов, расположенных в бесконечности. Это означает, что всё изображение будет иметь отрицательный параллакс, оно не будет простираться в заэкранное пространство и не будет соответствовать той пространственной картине, которую мы наблюдали при съёмке. Поэтому отснятое изображение после оцифровки с видеоленты должно быть подвергнуто форматированию по точкам нулевого параллакса. Форматирование происходит в программе Adobe Premiere. В каждой отснятой композиции определяется дистанция, по которой должна проходить воображаемая плоскость экрана (рампы), после чего изображение левого ракурса сдвигается относительно изображения правого ракурса так, чтобы одноимённые точки, расположенные на дистанции плоскости рампы, совместились. После форматирования мы имеем два изображения динамичной стереопары, одно из которых может быть передано режиссёру для монтажа, а второе – автоматически будет подставлено в проект монтажной программы по завершению монтажа.

Параметры стереосъёмки, такие как: базис съёмки (Bc), фокусное расстояние (F), расстояние до плоскости нулевых параллаксов (Lдал, Lбл, Lp), передняя и дальняя граница композиции кадра, коэффициент изменения масштаба (Km) взаимосвязаны математическими формулами, на основе которых в лаборатории стереокинематографа НИКФИ разработана интерактивная таблица (таблица 1). По этой таблице оператор может рассчитать необходимые величины стереопараметров для каждой определённой композиции.

Таблица 1. Расчёт стереопараметров

F, мм	Базис, мм	Экран, мм	Матрица	Кривоизог.	Парал. экр.	Параллел. экр.
5	34,0	8000,0	5	1600	65	0,04

Индекс	Lбл, м	Lp, м	Lд, м
1	2,1	4,2	#ДЕЛ/0!
1,25	1,9	3,3	16,74
2	1,4	2,1	4,18
3	1,0	1,4	2,09
4	0,8	1,0	1,39
5	0,7	0,8	1,05

Индекс	Lбл, м	Lp, м	Lдал, м
4,18462	0,8	1,0	1,31

При съёмке вышеописанным комплексом используются два базиса съёмки:

- с насадкой – 34 мм,
- без насадки – 68 мм.

Фокусные расстояния (F) объективов камер:

- при максимальном отъезде – 5 мм (с афокальными насадками 3 мм);
- при максимальном наезде – 50 мм.

Наезжать и отъезжать с афокальными насадками не рекомендуется.

Все остальные промежуточные значения фокусных расстояний объективов выставляются по наблюдаемому в видоискателе ползунку зуммирования.

Дистанция Lбл-Lдал – эта та глубина пространства, в пределах которой могут располагаться объекты при выбранном базисе и фокусе съёмки. Соблюдение этой дистанции позволит наблюдать изображение этих объектов на большом экране в максимально комфортных условиях.

На практике эти допустимые величины можно округлять и использовать навыки облегчённого арифметического расчёта. Во-первых, необходимо запомнить, какому числу соответствует каждое положение метки зуммирования объектива:

- 0 – 5 мм
- 1/4 – 10 мм
- 1/2 – 20 мм
- 3/4 – 40 мм
- 1.0 – 50 мм.

В случае, когда пространство простирается до бесконечности, при съёмке с насадкой дистанция рампы в метрах будет равна первой цифре фокусного расстояния, при съёмке без насадки – удвоенной цифре фокусного расстояния (при Lдал = ∞).

Таблица 2

Степень наезда зуммом	F, мм	Lp, м при H = 1	
		Bc = 34мм	Bc = 68мм
0	3 мм*		6
0	5 мм	5	10
1/4	10 мм	10	20
1/2	20 мм	20	40
3/4	40 мм	40	80
1	50 мм	50	100

* с использованием афокальной насадки

В этом случае стереосъёмка ведётся в пропорционально-пространственных соотношениях, а дистанция рампы называется величиной основной рампы. Уменьшение дистанции до объекта в кратное число раз относительно величины основной рампы будет означать, что съёмка ведётся в условиях искусственно гипертрофированного пространства. Коэффициент кратности уменьшения величины основной рампы называется коэффициентом гипертрофии (H).

При съёмке в условиях передачи гипертрофированного пространства граница дальней дистанции должна быть

ограничена. Например, если необходимо приблизиться к объекту в два раза ближе относительно величины основной рампы, дальняя граница будет соответствовать величине основной дистанции рампы (табл. 3 при $H = 2$).

При каждом кратном изменении дистанции рампы относительно дистанции основной рампы дальняя граница глубины комфортно воспроизводимого пространства должна соответствовать величине дистанции рампы при предшествующем коэффициенте гипертрофии $H = 3$ (табл. 4). Дистанция до самого ближнего статичного объекта $L_{бл}$ во всех случаях съёмки должна находиться на середине дистанции рампы L_p .

Комплекс для цифровой стереосъёмки успешно прошёл рабочие испытания:

- на съёмках открытия «Русского шатра», концертов группы «ТАТУ» и дискотеки «ТИМОТИ», которые проходили в рамках Каннского фестиваля в мае 2008 года,
- на видовых съёмках городов Нью-Йорка и Таллинна,
- на съёмках Московского фестиваля юмора.

Разработанная технология цифровой стереосъёмки зарекомендовала себя как удачное конструктивное решение для проведения событийных киносъёмок в стереоформате. ■

Таблица 3

Степень наезда зуммом	F, мм	Lp при H=2 Bc=34мм	Lдал для Bc=34мм	Lp при H=2 Bc=68мм	Lдал для Bc=68мм
0	3 мм*	—	—	3	6
0	5 мм	2,5	5	5	10
¼	10 мм	5	10	10	20
½	20 мм	10	20	20	40
¾	40 мм	20	40	40	80
1	50 мм	25	50	50	100

*с использованием афокальной насадки

Таблица 4

Степень наезда зуммом	F, мм	Lp при H=3, Bc=34мм	Lдал для Bc=34мм	Lp при H=3, Bc=68мм	Lбл для Bc=68мм
0	3 мм*	—	—	2	3
0	5 мм	1,7	2,5	3,3	5
¼	10 мм	3,3	5	6,6	10
½	20 мм	6,6	10	13	20
¾	40 мм	13	20	17	40
1	50 мм	17	25	33	50

*с использованием афокальной насадки

Обозначения терминов и определений, принятые в статье:

- F – фокусное расстояние, мм;
- Bзр – базис зрения, мм;
- Bc – базис стереосъёмки, мм;
- Kм – коэффициент изменения масштаба изображаемых объектов по отношению к их реальным размерам;
- H – коэффициент гипертрофии (индекс рамп);
- P – параллакс;

- L – расстояние до снимаемого объекта;
- Lp – дистанция (дистанция рамп), ближе которой не должны располагаться объекты съёмки;
- Lдал – дистанция, дальше которой не должны просматриваться объекты;
- Lбл – самая ближняя дистанция для статичных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болтянский А.Г. Расчёт параметров стереокино и фотосъёмки для проекции на экран. ТКТ № 5, 1975.
2. Рожков С.Н., Овсянникова Н.А. Стереоскопия в кино-, фото-, видеотехнике. Терминологический словарь. М.: Парадиз, 2003.



О.В. Андреева,
к.ф.-м.н.,
СПб ГУ ИТМО

Продолжение

ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ по прикладной голографии

Голографическая схема – оптическая часть установки для регистрации голограмм. Обычно представляет собой интерферометрическую схему, в одно из плеч которой помещается объект. Голографическая схема включает в себя делитель лазерного излучения и оптические элементы для формирования объектной и опорной волн, изменения их направления и т.д. Делитель излучения осуществляет деление светового потока либо по амплитуде (например, полупрозрачные зеркала, светоделительные кубики и т.д.), либо по волновому фронту. Стабильность положения оптических элементов и регистрирующей среды, а также параметров окружающей их среды в голографической схеме во время регистрации голограммы обеспечивается дополнительными защитными средствами, входящими в состав голографической установки. При использовании импульсных источников излучения требования к стабильности элементов голографической схемы значительно снижаются. Основные голографические схемы, используемые для регистрации голограмм, названы по имени авторов: схема Габора, Денисюка и т.д., либо по специфическим особенностям геометрии оптической схемы: осевая схема, схема Фурье и т.д. Голографическая схема обычно предназначена для регистрации голограмм определённого типа и предусматривает соответствующую оптическую схему для восстановления объектной волны или её преобразования.

Голографическая установка – установка, основным назначением которой является обеспечение процесса регистрации голограмм: представляет собой комплекс различных (оптических, механических, пневматических и т.д.) устройств и элементов для создания интерференционной картины и обеспечения её стабильности относительно регистрирующей среды в процессе записи голограммы.

Голография – раздел физики, изучающий процессы преобразования волн (волновых полей) интерференционными структурами, формируемыми когерентными волнами при их взаимодействии в веществе. Основой голографии является наиболее общий метод записи и восстановления произвольного волнового поля, который состоит в том, что запись осуществляется путём регистрации в светочувствительной среде результата когерентного сложения (интерференции) исходного волнового поля с другой (опорной) волной, а восстановление (воспроизведение, преобразование) – вследствие дифракции излучения на зарегистрированной интерференционной структуре. Голографический метод применим к волнам

любой природы, но наибольшее развитие получила оптическая голография (оптический диапазон электромагнитного излучения). Слово «голография» составлено из двух греческих слов «όλος» – «весь» и «γραφή» – «запись» и означает «полная запись». В настоящее время теоретически и экспериментально доказана возможность записи и восстановления амплитуды, фазы, спектрального состава и состояния поляризации волн, а также изменения этих параметров во времени.

Голография цифровая – практическая реализация голографического метода записи и воспроизведения информации, осуществляемая не в физическом эксперименте, а с помощью моделирования указанных процессов численными методами с использованием вычислительной техники.

Делимость голограммы – одно из основных свойств голограммы, обусловленное спецификой голографического метода записи информации, заключающееся в том, что восстановление объектной волны возможно каждым отдельным, сколь угодно малым, участком голограммы при условии, что при записи голограммы каждая точка объекта освещает всю поверхность регистрирующей среды. При наблюдении изображения объекта с помощью восстановленной волны голограмма для наблюдателя является своего рода «окном» в мир объекта – при уменьшении «окна» усложняются и ухудшаются условия наблюдения: например, предмет интерьера в комнате можно наблюдать через окно и через замочную скважину – условия разные, но иллюзия действительности сохраняется.

Денисюка голограмма – отражательная трёхмерная голограмма, впервые получена по однолучевой схеме Ю.Н. Денисюком в 1962 г. При регистрации голограммы Денисюка излучение когерентного источника (1) формируется линзой или оптической системой (2) и падает на прозрачную регистрирующую среду (РС), являясь опорной волной, затем проходит через регистрирующую среду и отражается (рассеивается) объектом, создавая объектную волну. Таким образом, объектная и опорная волны распространяются навстречу друг другу. При встречном направлении интерферирующих волн пространственная частота голограммы достигает максимально возможной для излучения данной длины волны величины и имеет порядок $2\pi/\lambda$, поэтому голограммы Денисюка проявляют объёмные свойства даже при использовании сравнительно тонкослойных регистрирующих сред (фотоматериалы

толщиной менее 20 мкм). Спектральная селективность голограммы при этом составляет величину 10–20 нм, что позволяет наблюдать качественное изображение объекта при освещении голограммы Денисюка источником излучения со сплошным спектром. Для получения голограммы Денисюка используют прозрачные регистрирующие материалы с высоким разрешением (порядка 5000 мм^{-1}) и методы постэкспозиционной обработки, пригодные для получения фазовых либо амплитудно-фазовых голограмм. Голограммы Денисюка широко используются для получения изобразительных голограмм и голограммных оптических элементов. Голограмма Денисюка, впервые полученная автором в 1962 г. на липпмановских прозрачных галогенидосеребряных фотоматериалах с использованием в качестве источника излучения ртутной лампы, явилась экспериментальным обоснованием метода Денисюка – записи в трёхмерной среде голограмм, способных восстанавливать амплитуду, фазу и спектральный состав объектной волны.

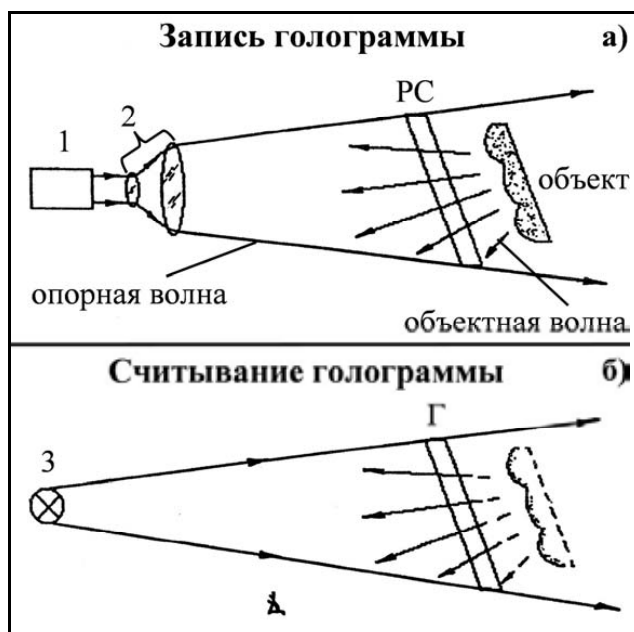


Рис. 6. Схема записи (а) и считывания (б) голограммы Денисюка: 1 – лазер, 2 – оптическая система, 3 – лампа накаливания, РС – регистрирующая среда, Г – голограмма.

Динамический диапазон воспроизведения градаций яркости объекта – характеризует способность устройства, формирующего изображение объекта, правильно передать в изображении градации яркости объекта. Из всех световых величин именно яркость объекта непосредственно связана со зрительными ощущениями, так как освещённости изображений объектов, формируемых на сетчатке глаза, пропорциональны яркости этих объектов.

Соотношение наиболее ярких и наименее ярких деталей, которое характеризует каждый объект, не могут правильно передать методы получения изображений, обладающие ограниченным диапазоном воспроизведения градаций яркости объекта. Например, при использова-

нии фотографического процесса на фотоснимках соотношение наиболее ярких и наименее ярких деталей, как правило, не превышает 1000:1. Это позволяет правильно передать градации яркости в изображении, например, человеческого лица, но игра бликов будет утеряна, и распределение яркости фотографического изображения оказывается искажённым по сравнению с оригиналом, особенно это заметно при изготовлении фотоснимков водной поверхности или ювелирных изделий (яркость блика ювелирного изделия, как правило, на 5–7 порядков выше яркости поверхности, например бархата, на которой изделие находится).

В отличие от фото процесса и других изобразительных технологий существенным свойством голографического изображения (изображения, формируемого волной, восстановленной голограммой) является способность правильно передавать детали, яркость которых в тысячи раз превышает среднюю яркость объекта (например, блики на поверхности объекта): при записи голограммы излучение каждой детали объекта освещает всю площадь голограммы, поэтому даже очень яркой детали соответствует относительно малая модуляция освещённости ΔE вокруг некоторого среднего значения освещённости E_0 . Такая модуляция не превышает упомянутого выше ограничительного соотношения 1:1000, и соответствие между яркостью объекта и откликом материала сохраняется в очень широких пределах. При считывании голограммы каждая деталь изображения формируется излучением, собранным со всей площади голограммы. В результате при относительно низком уровне модуляции записи световой поток, направляемый в изображение этой детали, может быть достаточно большим. Диапазон яркостей восстановленного с помощью голограммы изображения существенно превышает возможности традиционно используемых методов получения изображений и близок к возможностям зрительного аппарата человека.

Дифракционная эффективность определяется обычно как отношение потока излучения в дифрагированной волне данного порядка дифракции ($P_{дn}$) к падающему на голограмму потоку излучения ($P_{пад}$). Для характеристики голограмм, имеющих потери (на поглощение, рассеяние, отражение и т.д.), используют также приведённые, или нормированные, значения дифракционной эффективности, определяемые как отношение ($P_{дn}$) к сумме потоков излучения всех порядков дифракции, включая нулевой. В этом случае для объёмной голограммы, формирующей один дифракционный порядок, $ДЭ = (P_{д1}) / ((P_{д1}) + (P_{д0}))$. Дифракционная эффективность зависит от типа голограммы, свойств регистрирующей среды и методов постэкспозиционной обработки, условий регистрации и освещения голограммы и является важнейшей характеристикой при количественной оценке её свойств. Следует учитывать, что при использовании различных вариантов определения, значения дифракционной эффективности одной и той же голограммы могут существенно различаться между собой.

Диффузное отражение (в отличие от зеркального отражения) – рассеивание света отражающей поверхностью по всем возможным направлениям. При этом индикатриса рассеяния описывается законом Ламберта, а яркость отражающей поверхности одинакова во всех направлениях, независимо от направления излучения, падающего на поверхность.

Диффузное пропускание (в отличие от пропускания без нарушения геометрии пучка излучения) – пропускание, которое сопровождается рассеянием света, вплоть до полного отсутствия регулярного (направленного) пропускания.

Диффузное рассеяние – рассеяние света по всем возможным направлениям (а также в соответствии с определённой индикатрисой рассеяния) при отражении или пропускании.

Диффузор (диффузный рассеиватель) – оптический элемент (например, матовый экран), обеспечивающий диффузное пропускание или диффузное отражение падающего излучения независимо от его направления (или в соответствии с индикатрисой рассеяния данного элемента, например, направленный диффузор).

Изображение действительное – изображение (оптическое), которое создаётся сходящимися пучками лучей в точках их пересечения. Если в плоскости пересечения лучей поместить экран (или регистрирующую среду), то можно на нём наблюдать действительное изображение. Действительное изображение объекта, формируемое восстановленной голограммой объектной волной, является псевдоскопическим.

Изображение мнимое – изображение (оптическое), формируемое лучами, которые при выходе из оптической системы расходятся, но их можно мысленно продолжить в противоположную сторону и они соберутся в точках пересечения. Совокупность таких точек называют мнимым изображением, так как оно способно играть роль объекта по отношению к другой оптической системе (например, глазу), преобразующей его в действительное изображение. Мнимое изображение объекта, формируемое с помощью объектной волны восстановленной голограммой, является ортоскопическим.

Изображение ортоскопическое (оптическое) – изображение, сформированное оптической системой, в котором распределение разности фаз на поверхности изображения объекта соответствует распределению разности фаз на поверхности объекта. Наблюдатель при этом видит изображение, соответствующее объекту.

Изображение псевдоскопическое (оптическое) – изображение, сформированное оптической системой, в котором распределение разности фаз на поверхности изображения объекта соответствует по абсолютной величине распределению разности фаз на поверхности объекта, но имеет отрицательный знак по отношению к последнему. Наблюдатель при этом видит изображение объекта, в котором, например, вместо выпуклостей – вогнутости, и наоборот. Псевдоскопическое изображение можно на-

блюдать в голографическом эксперименте при обращении хода лучей через голограмму (явление обращения волнового фронта) и при наблюдении действительного изображения объекта, сформированного восстановленной голограммой объектной волной.

Изобразительная голография – раздел голографии, включающий вопросы, связанные с применением голографического метода и технических средств голографии для изобразительных целей. Голограммы, используемые для зрительного (визуального) эстетического восприятия (наблюдения) изображений, получили название изобразительных голограмм. Широкое распространение получили изобразительные голограммы объектов, представляющих собой художественную ценность, – музейных и коллекционных экспонатов, ювелирных изделий и т.д. Размеры голографируемых объектов определяются их параметрами, структурой и техническими возможностями голографии – мощностью источников излучения, чувствительностью регистрирующей среды, потерями излучения в голографической схеме, допустимой длительностью экспонирования. В настоящее время получены изобразительные голограммы высокого качества размером порядка нескольких квадратных метров. Наблюдение изображений в изобразительной голографии, как правило, не требует специальных монохроматических источников излучения – освещение изобразительных голограмм может производиться источниками излучения со сплошным спектром (стандартные лампы накаливания, Солнце). Изобразительные голограммы получают по методу Денисюка, по методу Бентона (радужные голограммы), а также на основе синтеза композиционных голограмм. В качестве регистрирующей среды используют высококоррелирующие галогенидосеребряные фотографические материалы, фотоматериалы на основе бихромированной желатины, фотополимерные композиции. Голографический метод даёт принципиальную возможность получить изображение объекта, неотличимое от оригинала при наблюдении в дифрагированном пучке в пределах размера голограммы. Голографическое изображение воспроизводит не только пространственную форму объекта, но и правильно передаёт диапазон градации яркости на его поверхности, что позволяет наблюдать игру бликов на объекте при его оглядывании – эффект, недостижимый другими методами получения изображений. Изобразительная голография – раздел голографии, тесно сопряжённый с изобразительным искусством. На основе изобразительной голографии появилась возможность создания новых методов в изобразительной технике, обеспечивающих полную иллюзию действительности изображаемой сцены или объекта, а также возможность создания технологий синтеза трёхмерных образов и композиций.

Изобразительная голограмма – голограмма, используемая для зрительного (визуального) эстетического восприятия (наблюдения) изображения объекта.

Индикатриса рассеяния – кривая, графически отображающая зависимость интенсивности рассеянного света от направления наблюдения.

Лейта и Упатниекса голограмма – пропускающая внеосевая голограмма, обеспечивающая, в отличие от схемы Габора, пространственное разделение восстановленной (дифрагированной) волны, и волны, прошедшей через голограмму без дифракции, предложенная Лейтом и Упатниексом (Emmeth N. Leith, Juris Upatnieks) в 1964 г. На рисунке 7 приведена типичная схема регистрации такой голограммы (а) и восстановления объектной волны (б).

других диапазонов (инфракрасного излучения, ультрафиолетового излучения, рентгеновского излучения и др.), по отношению к которым также используется термин «монохроматический» (одноцветный), хотя никакого ощущения цвета эти волны не вызывают. Понятие «монохроматическое излучение» является идеализацией. Так как идеальным монохроматическое излучение не может быть по своей природе, то обычно монохроматическим считается излучение с узким спектральным интервалом, который можно приближённо характеризовать одной частотой (длиной волны). Чрезвычайно

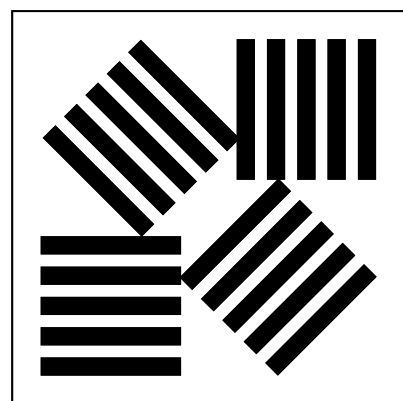
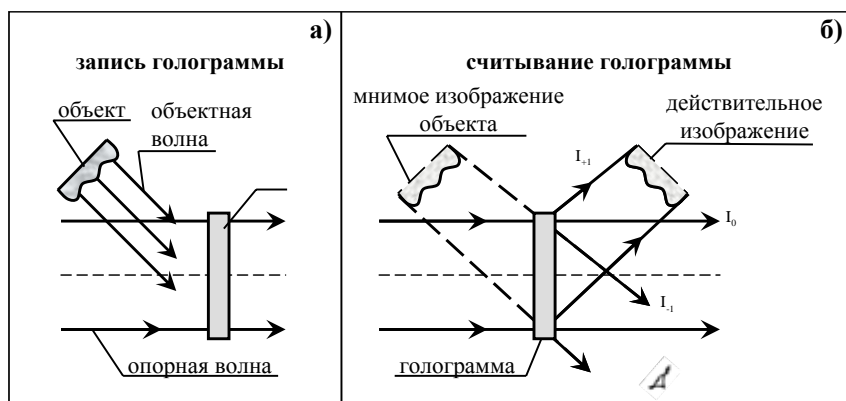


Рис. 7. Схема записи (а) и считывания (б) голограммы Лейта и Упатниекса: РС – регистрирующая среда; I_0 , I_{+1} , I_{-1} – волны соответствующих порядков дифракции

Рис. 8. Элемент мира со штрихами одинаковой ширины

Мира (тест-объект) – оптический элемент, предназначенный для определения характеристик качества изображения при исследовании оптических систем и светочувствительных материалов. Обычно представляет собой пластинку из прозрачного или непрозрачного материала, на которую нанесён геометрический рисунок. Элементами рисунка служат чередующиеся тёмные прямоугольные штрихи на светлом фоне с закономерно изменяющейся частотой (штриховые миры) или чередующиеся тёмные и светлые сектора (радиальные миры). Каждый из элементов штриховой миры состоит из четырёх квадратов со штрихами одинаковой ширины, но ориентированных различным образом (рис. 8), что позволяет оценивать разрешающую способность в четырёх направлениях. Радиальные миры выполняются в виде круга, разделённого на тёмные и светлые сектора с определённым угловым размером.

высокая монохроматичность характерна для излучения некоторых типов лазеров, у которых ширина спектрального интервала излучения не превышает 10^{-6} нм, что значительно уже, чем ширина линий атомных спектров. Приборы, с помощью которых из спектра реального излучения выделяют узкие спектральные интервалы, называются монохроматорами.

Монохроматическое излучение – электромагнитное излучение одной, строго постоянной частоты. В более широком смысле слова – излучение очень узкой области частот или длин волн, которое может быть охарактеризовано одним значением частоты или длины волны. Происхождение термина связано с тем, что различие в частоте световых волн воспринимается человеком как различие в цвете. Однако, электромагнитные волны видимого диапазона, лежащие в интервале длин волн 380–760 нм, не отличаются от электромагнитных волн

Оптическая длина пути – расстояние между двумя точками прозрачной среды, на которое свет (оптическое излучение) распространился бы в вакууме за то же время, за какое он проходит это расстояние в среде. Оптическая длина пути всегда больше реально проходимого светом расстояния и в изотропной среде с постоянным показателем преломления определяется произведением геометрической длины пути (l) и показателя преломления среды (n) – $l \cdot n$. Данное понятие играет большую роль в оптике, особенно в геометрической оптике и кристаллооптике, позволяя сопоставить пути, проходимые светом в средах, в которых скорости его распространения различны. Оптическая длина пути луча света между двумя произвольными точками пространства предметов и пространства изображений называется эйконалом.

Оптическое излучение – оптический диапазон электромагнитного излучения, включающий видимое излучение (свет), а также ультрафиолетовое и инфракрасное излучения. Диапазон частот оптического излучения принято определять в интервале $(3 \cdot 10^{11} \div 3 \cdot 10^{17})$ Гц.

Освещённость (облучённость) – Е. Отношение светового потока, падающего на рассматриваемый (малый) участок поверхности, к площади этого участка.

Параллакс – термин, используемый в астрономии для характеристики изменения направления «наблюдатель-объект» при смещении точки наблюдения. Параллакс равен углу, под которым из центра объекта видно расстояние между двумя положениями точки наблюдения. Если смещение точки наблюдения равно нулю, параллакс отсутствует. В оптике термин используется для характеристики угла, под которым объект (точка объекта) виден правым и левым глазом. Различают горизонтальный параллакс, обусловленный расстоянием между зрачками (узловыми точками глаз), и вертикальный параллакс, как правило, равный нулю. Восприятие объектов двумя глазами (бинокулярность зрения) играет существенную роль в процессе создания человеком образа объекта с помощью зрительного аппарата. Благодаря зрению двумя глазами, мы имеем возможность оценивать расстояние от объекта (точки объекта) до глаза. Эта оценка производится произвольно по углу поворота глаз. При рассмотрении объекта S, лежащего на конечном расстоянии l, глаза несколько поворачиваются, так что линии прямого зрения O_1S и O_2S составляют угол ϵ , который называется углом параллакса (рис. 9) и связан с расстоянием до объекта l соотношением $l = b/\epsilon$, где b – расстояние между узловыми точками обоих глаз.

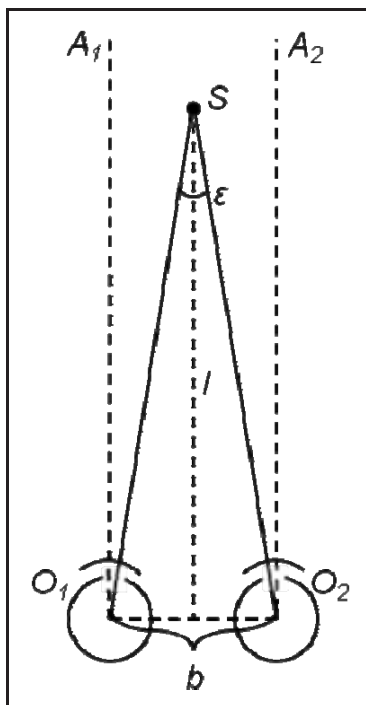


Рис. 9. Зрение двумя глазами

Зрение двумя глазами, позволяющее по углу параллакса оценить расстояние до объекта, носит название стереоскопического зрения, которое сказывается для углов параллакса, превышающих приблизительно 1 угловую минуту, что соответствует расстоянию до объекта ≈ 200 м. О расстоянии до более далёких предметов мы судим по ряду косвенных признаков, по количеству различаемых деталей и т.д.

Принцип дисперсионной рефракции – способ формирования структуры голограммы путём изменения показателя преломления («рефракции») светочувствительного материала в результате воздействия регистрирующего излучения. Суть принципа заключается в том, что в светочувствительной среде, имеющей полосу поглощения в видимой области спектра, при воздействии регистрирующего излучения инициируются химические реакции, приводящие к сдвигу полосы поглощения в более коротковолновую (ближний ультрафиолет) область спектра. Это происходит за счёт образования фотопродукта с соответствующей полосой поглощения. Таким образом, происходит «фотохимическое отбеливание» материала в видимой области спектра и появление полосы поглощения в ближнем ультрафиолете, что в соответствии с фундаментальными соотношениями Крамерса-Кронига приводит к изменению показателя преломления в видимой области. Принцип предложен сотрудниками Государственного Оптического Института им. С.И. Вавилова (В.И. Суханов и Г.И. Лашков, 1978 г.) для разработки принципиально новых регистрирующих сред для объёмной голографии – фотохромных материалов с фотохимическим отбеливанием и впервые применён авторами при создании полимерного светочувствительного материала «Реоксан».

Пространственная частота голограммы (ν) – величина, обратно пропорциональная пространственному периоду изменения оптических параметров голограммы. Для элементарной голограммы, полученной при взаимодействии двух плоских волн, $\nu = 1/d$, где d – расстояние между двумя смежными (соседними) максимумами интенсивности в регистрируемой интерференционной картине. Пространственная частота измеряется обычно в мм^{-1} , либо в см^{-1} . Любую голограмму можно представить как результат наложения элементарных голограмм, ориентированных произвольно, и характеризовать набором (спектром) пространственных частот. Обычно выделяют среднюю ($\nu = 1/d$), минимальную ($\nu_{\min} = 1/d_{\max}$) и максимальную ($\nu_{\max} = 1/d_{\min}$) пространственную частоту голограммы. Последняя частота определяет разрешающую способность регистрирующей среды, необходимую для записи всех пространственных частот голограммы. Наименьшей пространственной частотой обладают осевые голограммы, полученные, например, по схеме Габора. В схеме Денисюка ν максимальна и близка к $2/\lambda$.

Окончание следует



50 лет назад, 16 июня 1959 года, состоялся первый сеанс в кинотеатре «Круговая кинопанорама» у Южного входа на ВДНХ СССР. «Новое Советское киночудо» – так писали в газетых того времени о новой кинопанораме.

КРУГОРАМНЫЕ СИСТЕМЫ кинематографа

Окончание

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

Редакция журнала поздравляет всех создателей этого киночуда и сотрудников уникального кинотеатра «Круговая кинопанорама» с пятидесятилетием.

Круговая кинопанорама (Circlorama)



Кинотеатр «Круговая кинопанорама» на ВДНХ (1959)

■ В Советском Союзе работы по созданию отечественной системы круговой кинопанорамы (Circlograma) были проведены под руководством и при непосредственном участии доктора технических наук, профессора Е.М. Голдовского.

Кинотеатр круговой кинопанорамы на ВДНХ в Москве был построен в рекордно короткий срок – всего за 3 месяца.

В отличие от «Circarama», в отечественной системе использовались 22 экрана, установленных в два яруса. Верхний ярус из 11 экранов, размером 4,9x4,2 метра каждый, устанавливался под углом, образуя конус. Нижние 11 экранов образовывали цилиндр с окружностью 54 метра и диаметром 17 метров. Каждый экран нижнего яруса был 3,6 метра высотой и 4,9 метра шириной. Для съёмки и проекции применялась 35-мм плёнка, что значительно улучшало качество изображения по резкости и яркости. Фонограмма записывалась на отдельной магнитной плёнке в стереофоническом режиме на 9 каналов: 7 каналов обеспечивали звук по окружности зала, 8-ой канал – звук на потолке, а 9-ый канал – эффектный звук на полу.

Для съёмки кругорамного фильма был создан специальный агрегат из 11 кинокамер «Конвас-автомат» с фо-

кусными расстояниями объективов 35 мм. Камеры монтировались на общем основании по кругу таким образом, чтобы углы между оптическими осями смежных объективов равнялись $32^{\circ}43'$. Съёмка велась с частотой 25 кадров в секунду на 35-мм плёнке с размером кадра 22x16 мм.

Расчёты, проведённые разработчиками советской системы круговой кинопанорамы под руководством Е.М. Голдовского, показали, что для получения высококачественного изображения необходимо всего 9 киноаппаратов и – соответственно, 9 экранов, образующих замкнутый круг. Но в целях обмена фильмами с американской «Circarama» путём печати копий на 35-мм плёнке с 16-мм оригинала и наоборот, в СССР была принята 11-ти экранная система.

Надо заметить, что за всё время существования круговой кинопанорамы никаких обменов фильмами не проводилось. А в 1961 году американская «Circarama» была заменена 9-ти экранной 35-мм системой кругорамного кино, получившей название «Циркле-Вижн 360» (Circle-Vision 360).



Схема расположения экранов и кинопроекторов в советской системе «Круговая кинопанорама»

Открытие первого кинотеатра «Круговая кинопанорама» на ВДНХ было приурочено, как это было принято в то время, к торжественному событию. Этим событием был июньский Пленум ЦК КПСС 1959 года и открытие Выставки достижений народного хозяйства (ВДНХ). И естественно, что первыми зрителями нового киночуда стали участники Пленума. На первом киносеансе 15 июня 1959 года демонстрировался первый отечественный кругорамный фильм «Дорога весны».

Режиссёр этого фильма Василий Катанян так вспоминает о его съёмках: «12 апреля 1959 года. Съёмка круговой кинопанорамы “Дорога весны”. Делаем с Лёней Махначём. Скорее, скорее, чтобы успеть к Американской выставке на ВДНХ. Американцы привезут свою кругораму – а мы что? Хуже людей? Когда они приедут, мы должны будем сказать: “Подумаешь! У нас эта кругорама уже спокон века. Это здание – чуть не единственное, уцелевшее от наполеоновского пожара в Москве...” Так как времени мало, то мы бросились на юг, где что-то цветёт и можно снимать. Тбилиси, Сухуми, Баку, Ашхабад, потом поедem в Ленинград...»

Съёмка одиннадцатью камерами одновременно, и как получится и получается ли вообще – никому не известно, так как посмотреть негде, кинотеатр (уцелевший от пожара Наполеона) ещё и не начали строить, а проекция из одиннадцати аппаратов одновременно будет только там. Снимаем буквально вслепую».

То, что они «насняли вслепую», понравилось всем: и партийным верхам, и звёздам мирового кино – участникам первого московского кинофестиваля 1959 года, и простым зрителям.

Из воспоминаний В. Катаняна: «5 августа 1959 года гости смотрели нашу с Махначём “Круговую кинопанораму” на ВДНХ и пришли в неопиcуемый восторг. Особенно Абель Ганс, который когда-то снимал ещё немое трёхплёночное кино о Наполеоне (а тут 11 плёнок!)».

26 апреля 1960 года был выпущен второй кругорамный фильм «На Венском фестивале» о Всемирном фестивале демократической молодёжи и студентов.

Кинотеатр круговой кинопанорамы на ВДНХ пользовался огромной популярностью у зрителей. Фильмы начинали демонстрироваться с 9 часов утра, а последний сеанс начинался в 9 часов вечера. Несмотря на то, что ежедневно давалось более 18 киносеансов, число желающих посмотреть новый вид кино не уменьшалось. При расчётной вместимости зала в 300 человек, число зрителей на некоторых сеансах достигало пятисот человек. Очередь в кассу занимали с ночи. Зрителями первых лет круговой кинопанорамы были и простые посетители ВДНХ, и именитые партийные и государственные деятели, и их зарубежные коллеги. Никита Сергеевич Хрущёв частенько заезжал на киносеансы с высокими гостями Советского Союза. Надо заметить, что идея создания советской кругорамы принадлежит Н.С. Хрущёву, который после посещения «Circarama» в США дал указание создать своё киночудо, да такое, чтобы лучше и больше, чем у Диснея. Никита Сергеевич лично курировал работы по строительству кинотеатра, неоднократно приезжал на стройку. Внимание первого лица государства к кинотеатру и его частые визиты на киносеансы требовали высокого качества кинопоказа. Сотрудники кинотеатра неоднократно заказывали допечатку копий фильма в случае обрыва плёнки или расхождения в цветопередаче. Качество цвета на позитивах, суммарная однородность цветопередачи на всех 22-х постах жёстко контролировались.

Посещение круговой кинопанорамы было включено в программу для иностранных туристов, приезжавших в Москву. В многочисленных книгах отзывов слова восторга после просмотра кругорамных фильмов подписаны многими известными в мире людьми...

Мне удалось посмотреть в начале 60-х годов только один фильм на 22-х экранах. Это был фильм «На воде и



360° кадр из первого советского кругорамного фильма «Дорога весны» (1959)



Демонстрация на 22 экранах кругорамного фильма «На Венском фестивале»



Демонстрация кругорамного фильма на 11 экранах

под водой». Особенно сильное впечатление производили кадры подводной съёмки, когда зрители как бы погружались под воду. Но этот фильм был интересен не только использованием 22-х экранов для создания единого изображения, но и попыткой художественного использования полиэкранной формы кинематографа на технической основе круговой кинопанорамы. Для съёмок в кругорамном фильме впервые был приглашён профессиональный актёр – народный артист СССР М.И. Жаров, который во вступительной части фильма рассказывал, переходя с экрана на экран, историю развития отечественного кинематографа от немого до панорамного. Затем начиналась настоящая кругорамная феерия на всех 22-х экранах. Зрители практически не замечали чёрных разделительных полос. Возникал полный эффект присутствия и как бы участия зрителей в происходящем на экранах.

К сожалению, ни один из трёх первых кругорамных фильмов не сохранился. В течение долгого времени я пытался выяснить судьбу копий или исходных материалов этих фильмов. В архиве ЦСДФ удалось обнаружить только трудно читаемые копии монтажных листов фильмов «На воде и под водой» и «На Венском фестивале». Интересно, что на ЦСДФ и на «Союзмультфильме» вообще нет никаких официальных данных о производстве фильма «Дорога весны» и он не включён в фильмографию этих киностудий и, соответственно, самих создателей. Мне сказали, что это, видимо, был «сторонний заказ», а такие картины в то время не учитывались. Только в совсем недавно выпущенной «Энциклопедии отечественной мультипликации» в фильмографиях И.П. Иванова-Вано и Д.Н. Бабиченко сообщается о их причастности к созданию первой советской кругорамы. Госфильмофонд России и РГАКФД не принимали на хранение ни копий, ни исходных материалов первенцев советской кругорамы. Правда, в РГАКФД в хорошем состоянии хранится цветной фильм об открытии ВДНХ летом 1959 года. Один из сюжетов этого фильма посвящён новому советскому киночуду и в него включён фрагмент демонстрации фильма «Дорога весны» на 11-ти экранах – эпизод Первомайской демонстрации на Красной площади в Москве.

В РГАКФД сданы на хранение исходные материалы 9-ти кругорамных фильмов, снятых по второй системе советской кругорамы. Её разработка началась уже в первый год работы советской круговой кинопанорамы. Кинооператор Б.В. Тимофеев на Центральной студии документальных фильмов провёл экспериментальную съёмку кругорамного фильма с вертикальным анаморфированием кадра, используя отечественные анаморфотные насадки завода «Ленкинап» и объективы с фокусным расстоянием 40 мм. Этот эксперимент оказался удачным. 2 мая 1965 года прошли последние показы трёх первых советских кругорамных фильмов по 22-х экранной системе.

На следующий день кинотеатр был закрыт, и началась его модернизация. Верхний ярус экранов демонтировали и оставили только нижний, увеличив высоту каждого экрана в два раза (7,2 м x 4,9 м).

Для съёмок стали использовать 11 кинокамер с анаморфотной оптикой, сужавшей изображение по вертикали с коэффициентом 0,5, а не по горизонтали, как в широкоэкранной системе. При проекции изображение растягивалось также по вертикали. В отличие от зарубежных систем кругорамы, где съёмка и демонстрация фильма производятся на стандартный кадр с соотношением ширины к высоте 1,37:1, в системе с вертикальным анаморфированием соотношение ширины к высоте изображения на экране составляет 1:1,63. Такая пропорция изображения на экране, не удобная и не привычная в обычном кинематографе, в круговой кинопанораме увеличивает вертикальный обзор изображения, усиливает эффект присутствия. В то же время использование 11 кинокамер и кинопроекторов вместо 22 позволяет в два раза экономить плёнку и несколько упростить процесс съёмки и демонстрации фильмов. А отсутствие чёрной разделительной полосы между нижним и верхним ярусами экранов создаёт зрителям больше удобства для просмотра.

4 апреля 1966 года новая советская система круговой кинопанорамы была введена в эксплуатацию.

Газета «Московская кинонеделя» в апрельском номере 1966 года сообщала: «На выставке достижений народного хозяйства после значительной реконструкции вновь открылся кругорамный кинотеатр. На одиннадцати вертикальных его экранах будет демонстрироваться новая, четвёртая программа круговой кинопанорамы, состоящая из двух фильмов Центральной студии документальных фильмов: “Здравствуй, столица!” и “Возьмите нас с собой, туристы...”»

Фильмы впервые сняты новым оригинальным способом анаморфирования кадра по вертикали, изобретённым советскими специалистами Е. Голдовским и Б. Тимофеевым. На просмотре кругорамных кинокартин, снятых по этому способу, зритель ощущает значительный эффект присутствия. В этом вы убедитесь, когда посмотрите эти два цветных стереофонических фильма».

Эффект присутствия сохранился и в 11-экранной системе. Помню, как во время просмотра кругорамного



Кругорамный фильм «Спорт удивительный и прекрасный».
Анаморфированный кадр фильмокопии 4-го поста
и дезанаморфированное изображение с него на 4-м экране

фильма «Летом в Чехословакии» зрителей и меня, в том числе, начинало укачивать «при выходе из одной пражской пивной». Создатели фильма, снимая это эпизод, несколько раз покачали камеру, и у зрителей возникало полное ощущение, что земля уходит из-под ног...

Отечественная система круговой кинопанорамы и в первом и во втором варианте получила признание во всём мире. Открывшийся летом 1960 года в Праге кругорамный кинотеатр и по размерам и по оборудованию был такой же, как на ВДНХ в Москве. 9 мая 1963 года в Лондонском «Piccadilly Circus» открылся «The Circlorama Theatre» – третий кинотеатр круговой кинопанорамы. В круглом зале диаметром 18 метров и высотой 15 метров были установлены 11 экранов общей длиной 45 метров. Проекция советского кругорамного фильма «Дорога весны», получившего английское название «Russian Roundabout» («Русский окольный путь»), производилась с 35-мм копии и сопровождалась 9-ти канальным стереофоническим звуком. Фильм демонстрировался на 20 сеансах ежедневно в течение года. Через год, летом 1964 года, в этом же зале началась демонстрация английского кругорамного фильма «Circlorama Adventure» («Приключение Циклорамы»). Фильм был снят и демонстрировался на 16-мм киноплёнке с одноканальной монофонической фонограммой.

15 июня 1964 года в Токио, рядом с олимпийским стадионом, демонстрацией фильма «На воде и под водой» открыт четвёртый кинотеатр по советской системе «Круговая кинопанорама». Токийский кинотеатр проработал около пятнадцати лет, демонстрируя японцам советские кругорамные фильмы.

Кинотеатр «Круговая кинопанорама» на ВВЦ (бывшая ВДНХ) в Москве работает и по сей день. Это единствен-

ный в мире кинотеатр кругорамного кинематографа, проработавший постоянно пятьдесят лет.

В конце 80-х годов двадцатого века во Франции и Японии были разработаны и эксплуатировались собственные системы кругорамного кинематографа, являвшиеся аналогом системы «Circle Vision 360».

В 1994 году в Нормандии премьерой фильма «Le prix de la liberte / The Price of Freedom» («Цена свободы») был открыт кругорамный кинотеатр «Arromanches», оборудованный для демонстрации фильмов по французской 9-плёночной системе «Circlorama 360».

Японская система кругорамы получила название «Cirokino Vision».

Фильмография отечественных кругорамных фильмов

Все советские кругорамные фильмы снимались на цветной негативной киноплёнке Шосткинского производственного объединения «Свема». Позитивные копии печатались либо на плёнке «Свема», либо или вернее чаще, на немецкой плёнке «ORWO». На отдельной 35-мм магнитной плёнке записывалась 9-канальная стереофоническая фонограмма. Каждая двоянная часть фильма обеспечивала непрерывную демонстрацию в течение 20 минут. В фильмографию включены все советские кругорамные фильмы, демонстрировавшиеся в круговой кинопанораме на ВДНХ. Даты выпуска на экран (ВЭ) установлены и проверены по газетам «Вечерняя Москва», «Досуг в Москве» и «Московская правда». Чтобы быть полностью уверенным в точности даты ВЭ, я посчитал наиболее правильным использовать ссылки в прессе об уже состоявшемся событии, а не его анонсе. Данная полная фильмография советских кругорамных фильмов публикуется впервые.



Кадр из кругорамного фильма «Возьмите нас с собой, туристы!» (1970).

35-мм позитивы для 11-ти постов и 35-мм магнитная 9-ти канальная фонограмма



Кинотеатр «Circlorama» на площади Пикадилли в Лондоне. Плакат советской круговой кинопанорамы в Лондоне.

Вход в кинотеатр «Circlorama»

Система «Круговая кинопанорама®» (22х35 мм)

«ДОРОГА ВЕСНЫ»

ЦСДФ и «Союзмультфильм», 1959. ВЭ 16 июня 1959 года.

Сценарий: В. Осьминин, В. Катанян, Л. Махнач. Режиссёры: В. Катанян, Л. Махнач. Режиссёры мультипликации: Л. Атаманов, А. Бабиченко, И. Иванов-Вано. Операторы: А. Сёмин, И. Бессарабов.



На экранах первый советский кругорамный фильм «Дорога весны» (1959)

«НА ВЕНСКОМ ФЕСТИВАЛЕ»

ЦСДФ, 1960. ВЭ 26 апреля 1960 года.

Авторы-операторы: А. Сёмин и И. Бессарабов. Автор текста В. Захарченко. Текст читает Л. Хмара. Музыкальное оформление В. Смирнова. Звукооператоры: И. Гунгер, В. Котов. Директора картины: М. Бессмертный, В. Вайнштейн.

«НА ВОДЕ И ПОД ВОДОЙ»

ЦСДФ, 1961. ВЭ 28 августа 1961 года.

Сценарий: А. Сёмин, И. Бессарабов и В. Склют. Режиссёры-операторы: А. Сёмин и И. Бессарабов. Текст песен Р. Рождественский. Композитор М. Флярковский. Фильм комментирует народный артист СССР М.И. Жаров.

Система «Круговая кинопанорама®»

(11х35 мм с вертикальным анаморфированием)

«ЗДРАВСТВУЙ, СТОЛИЦА!»

ЦСДФ, 1966. ВЭ 4 апреля 1966 года.

Авторы сценария: С. Рунге, И. Бессарабов и А. Сёмин. Автор текста З. Гердт. Режиссёр А. Сёмин. Оператор И. Бессарабов. Композитор А. Флярковский.

«ВОЗЬМИТЕ НАС С СОБОЙ, ТУРИСТЫ!»

ЦСДФ, 1966. ВЭ 4 апреля 1966 года. РГАКФД. Уч. № 32106

Авторы сценария: И. Бессарабов, З. Гердт, А. Левитан. Режиссёр-постановщик И. Бессарабов. Оператор А. Левитан.

«ЛЕТОМ В ЧЕХОСЛОВАКИИ»

ЦСДФ, 1968. ВЭ 3 июня 1968 года.

«В ДОРОГУ, В ДОРОГУ!»

ЦСДФ, 1969. ВЭ 12 мая 1969 года.

Сценарий З. Гердт. Режиссёр И. Бессарабов.

«ПЕСНЯ»

ЦСДФ, 1972. Р/у от 21.12.1972. ВЭ 1 января 1973 года.

РГАКФД. Уч. № 32108. Режиссёр И. Бессарабов. Операторы: И. Бессарабов, Ю. Коровкин, А. Левитан.

«Я ХОЧУ РАССКАЗАТЬ О ГДР»

ЦСДФ, 1975. Р/у от 24.01.1975. ВЭ 29 апреля 1975 года.

Режиссёр И. Бессарабов.

«СПОРТ УДИВИТЕЛЬНЫЙ И ПРЕКРАСНЫЙ»

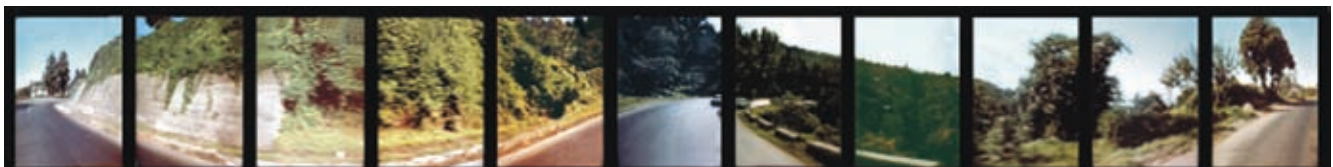
ЦСДФ, 1977. Р/у от 22.12.1977. ВЭ 10 июля 1978 года.

Режиссёр А. Левитан. Операторы: В. Горбатский, Р. Петросов, А. Левитан. Автор текста В. Викторов. Композитор Е. Стихин. Текст читает Ю. Колычев. Звукооператор И. Гунгер. В фильме снимались: И. Дерюгина, А. Зайцев, В. Маркелов, И. Роднина, Г. Шугурова и другие известные спортсмены.

«ДАЛЁКОЕ – БЛИЗКОЕ»

ЦСДФ, 1980. Р/у от 22.05.1980. ВЭ 30 июня 1980 года.

РГАКФД. Уч. № 32102. Режиссёр Е. Легат.



360° кадр из кругорамного фильма «Возьмите нас с собой, туристы!», 1966 г.



Кругорамный фильм «Волга – русская река», 1984 г.

Над ним анаморфированные кадры фильмокопий с 3 по 9 пост и дезанаморфированное изображение с них на соответствующих экранах.

«В НЕБЕ, НА ЗЕМЛЕ И НА МОРЕ»

ЦСДФ, 1982. Р/у от 11.01.1982. ВЭ 23 февраля 1982 года. РГАКФД. Уч. № 32103

Режиссёр А. Левитан. Операторы: В. Горбатский, Ю. Голубев.
«У ДАЛЬНИХ БЕРЕГОВ»

ЦСДФ, 1982. Р/у от 27.12.1982. ВЭ 6 апреля 1983 года. РГАКФД. Уч. № 32104.

Сценарий О. Лебедев. Текст Е. Легат. Режиссёры: Е. Легат, О. Лебедев. Операторы: О. Лебедев, А. Леонов. Музыка Н. Пейко. Звук И. Смирнов.

«РОДНИКИ НЕИЩЕРПАЕМЫЕ»

ЦСДФ, 1983. Р/у от 14.12.1983. ВЭ 23 января 1984 года. РГАКФД. Уч. № 32105.

Режиссёр Е. Легат. Оператор О. Лебедев.

«ВОЛГА – РУССКАЯ РЕКА»

ЦСДФ, 1984. Р/у от 02.11.1984. ВЭ 7 января 1985 года. РГАКФД. Уч. № 32110.

Режиссёр Е. Легат. Оператор О. Лебедев.

«И ДУМ ВЫСОКОЕ СТРЕМЛЕНИЕ»

ЦСДФ, 1985. ВЭ 5 мая 1986 года. РГАКФД. Уч. № 32109.

Режиссёр Е. Легат. Операторы: О. Лебедев, Е. Легат.

«СКАЗАНИЕ О РУСИ»

ЦСДФ, 1987. Режиссёр Е. Легат.

«ЛЮБОВЬ МОЯ – РОССИЯ, БОЛЬ МОЯ»

ЦСДФ, 1990. 6-канальный стереофонический звук.

Режиссёр Е. Легат.

«И ВСЁ ЭТО ЗОВЁТСЯ РОДИНА»

ЦСДФ, 1993. 6-канальный стереофонический звук.

Режиссёр Е. Легат.



На экранах кругорамный фильм

«Любовь моя – Россия, боль моя», 1990 г.

ПИОНЕРЫ КРУГОРАМЫ

АТАМАНОВ Лев Константинович (22.02.1905–12.02.1981). Кинорежиссёр. Народный артист РСФСР (1978). Режиссёр мультипликации первого советского кругорамного фильма «Дорога весны» (1959).

БАБИЧЕНКО Дмитрий Наумович (07.05.1901–30.07.1991). Кинорежиссёр. Режиссёр мультипликации первого советского кругорамного фильма «Дорога весны» (1959).

БЕССАРАБОВ Игорь Викторович (12.06.1919–1993). Кинорежиссёр, кинооператор. Народный артист РСФСР (1982). Лауреат Сталинской премии (1951). Оператор первого советского кругорамного фильма «Дорога весны» (1959). Снял 9 фильмов по системе круговой кинопанорамы.

ГОЛДОВСКИЙ Евсей Михайлович (20.01.1903–27.11.1971). Учёный, изобретатель. Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор. Почётный член Международного союза технических ассоциаций кинематографии (УНИАТЕК). Руководил разработкой советских систем широкоэкранного кинематографа (1955), трёхплёночного панорамного кинематографа (1956–57), кругорамных фильмов (1959), широкоформатного кинематографа на 70-мм киноплёнке (1958–60).

ГРИМУЭН-САНСОН Рауль (Raoul Grimoin-Sanson) (1860–1941). Французский изобретатель. Создатель первой действующей круговой кинопанорамы «Синеорама» (Cineorama) или «Синекосморамы» (Cinecosmorama) (1900).

ДИСНЕЙ Уолт (Walt Disney) (05.12.1901–15.12.1966). Американский режиссёр, художник, продюсер. Создатель первой постоянно действующей круговой кинопанорамы «Circarama» (1955).

ИВАНОВ-ВАНО Иван Петрович (27.01.1900–25.03.1987). Кинорежиссёр, художник, сценарист. Народный артист СССР (1985). Лауреат Государственной премии РСФСР (1970). Режиссёр мультипликации первого советского кругорамного фильма «Дорога весны» (1959).

КАТАНЯН Василий Васильевич (21.02.1924–1998). Кинорежиссёр. Лауреат Ленинской премии (1980). Режиссёр первого советского кругорамного фильма «Дорога весны» (1959).

МАХНАЧ Леонид Владимирович (08.10.1933). Кинорежиссёр. Народный артист РСФСР (1979). Режиссёр первого советского кругорамного фильма «Дорога весны» (1959).

ОСЬМИНИН Владимир Спиридонович (17.04.1905). Драматург. Автор сценария первого советского кругорамного фильма «Дорога весны» (1959).

СЁМИН Алексей Григорьевич (18.10.1914–2001). Кинооператор, директор ЦСДФ с 1963 года. Оператор первого советского кругорамного фильма «Дорога весны» (1959).

ЭЛЛЕНШАУ Питер (Peter Ellenshaw) (24.05.1913–12.02.2007). Американский кинорежиссёр, мастер спецэффектов. Режиссёр первого американского кругорамного фильма по системе «Circarama» «A Tour of the West» («Путешествие по Западу») (1955).

Киноматериалы о круговой кинопанораме

«Город чудес» – СССР, ЦСДФ, 1959, цв, РГАКФД. Уч. № 15503.

«СССР сегодня, № 6» – СССР, ЦСДФ, 1959, ч/б, РГАКФД. Уч. № 18359.

«Новости дня, № 22» – СССР, ЦСДФ, 1959, ч/б, РГАКФД. Уч. № 18286.

«По Советскому Союзу, № 10» – СССР, ЦСДФ, 1963, ч/б, РГАКФД. Уч. № 20498.

«Советское кино, № 31» – СССР, ЦСДФ, 1972, ч/б, РГАКФД. Уч. № 25967.

«Режиссёр ЦСДФ И. Бессарабов и оператор ЦСДФ А. Левитан на съёмке кругорамного фильма» – СССР, ЦСДФ, 1972, ч/б, РГАКФД. Уч. № 27136. ■