

ISSN: 1991-3400

# Мир Кино

## ТЕХНИКИ

АПРЕЛЬ-ИЮНЬ | 2(32)-2014 |

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

ИНФОРМАЦИОННАЯ  
ПРОПУСКНАЯ  
СПОСОБНОСТЬ  
КИНЕМАТОГРАФИЧЕСКИХ  
ОБЪЕКТИВОВ

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ  
ИНДИКАТОР  
ЗНАКОВО-СИМВОЛЬНОЙ  
ИНФОРМАЦИИ

АЛГОРИТМ  
ПОДБОРА  
ПАРАМЕТРОВ  
СТЕРЕОКИНОСЪЁМКИ  
ВНЕ ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ МЕТОДОВ  
РЕГИСТРАЦИИ  
СТЕРЕОПАРЫ

В КАДРЕ –

# ПЕРВАЯ МИРОВАЯ

## № 32 СОДЕРЖАНИЕ



### Доклады

М. Половинкина  
**На пороге дополнительной реальности – технология Motion capture** 2

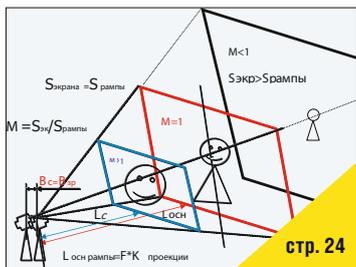


### Технологии

Г.И. Рожкова  
**Влияние симметричных и асимметричных перекрёстных помех на восприятие глубины в стереограммах разного типа** 5

С.Б. Бирючинский  
**Информационная пропускная способность кинематографических объективов** 12

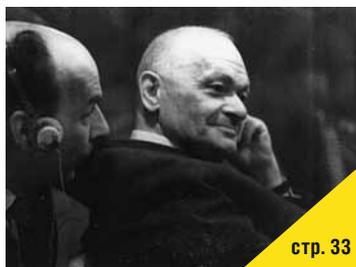
А.Б. Соломашенко, С.С. Донченко, С.Б. Одинокоев  
**Голографический индикатор знаково-символьной информации с многоуровневыми дифракционными решётками** 16



Я.В. Кириллова, К.Б. Греков  
**Исследование возможности использования полимерных покрытий для обработки фильмовых материалов на полиэтилентерефталатной основе** 21

### Мастер-класс

А.С. Мелкумов  
**Алгоритм подбора параметров стереокиносъёмки вне зависимости от методов регистрации стереопары** 24



### Страницы истории кино

Д.И. Масуренков  
**Евсей Михайлович Голдовский (1903–1971)** 33

Н.А. Майоров  
**В кадре — Первая мировая** 37

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

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

Электронная версия [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

Подписной индекс Роспечать: № 81923

Научно-технический журнал «Мир Техники Кино»  
 Выходит 4 раза в год  
 Издатель: ООО «ИПП «КУНА»  
 Учредители: ОАО «НИКФИ», ООО «ИПП «КУНА»  
 Материалы подготовлены и размещены при финансовой поддержке Министерства культуры Российской Федерации.  
 Выпуск издания осуществлён при финансовой поддержке Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям.

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

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

Отпечатано в ООО «ИПП «КУНА»  
 Объём 5,5 п.л. Заказ № 127.  
 Тираж 1000 экземпляров.

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

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

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



# На пороге дополнительной реальности – ТЕХНОЛОГИЯ MOTION CAPTURE



Марина Половинкина, R-Studios

**(Доклад на VI Международной научно-технической конференции  
«Запись и воспроизведение объёмных изображений  
в кинематографе и других отраслях»,  
17–18 апреля 2014, город Москва)**

Motion Capture – дословный перевод с английского «захват движения». Это процесс или техника записи движения в цифровом виде, главным образом, запись движения актёра с целью отслеживания и управления цифрового персонажа. Метод применяется в производстве CGI-мультфильмов, а также при создании спецэффектов для персонажей в фильмах. Широко используется в компьютерных играх.

Существует несколько систем мокапа (мосар – сокращённо от motion capture), которые различаются техническими особенностями. Популярными и наиболее точными являются оптические системы. Оптические системы бывают активными и пассивными.

Пассивный захват основан на вычислении положения точек в трёхмерном пространстве, снятых с разных ракурсов, по отражениям света от датчиков. Аппаратура засекает набор координат и отслеживает моменты вращения точек.

В активном захвате происходит нечто похожее, но каждая метка снабжена собственным передатчиком, который непрерывно сигнализирует о своём положении в пространстве. В активных оптических системах – это источник света. Однако в этом случае к актёру нужно подводить электропитание. Издалека он похож на новогоднюю ёлку, опутанную гирляндами. Пассивные системы могут фиксировать положение меток со скоростью до

2000 fps. Активные – почти вдвое больше, до 5000 fps. Более высокую точность обеспечивают оптические пассивные системы, по качеству данных они абсолютные лидеры.

Также существует технология инерционного, магнитного и гироскопического мокапа – это бескамерная технология, где маркерами являются магниты, а камеры – ресиверы, то есть синхронизированные датчики и приёмник.

Датчики перемещаются в пространстве, и приёмник понимает, где и в каком положении они находятся относительно друг друга. В результате в компьютере мы получаем трёхмерные объекты и знаем их положение и ориентацию относительно друг друга. Минус этой системы в том, что она подвержена магнитным и электрическим помехам от металлических предметов и окружения (электропроводки помещения, оргтехники, арматуры в плитах строения). Кроме того, она не точная и постоянно накапливает ошибки, так что через какое-то время приходится останавливать съёмку и перекалибровывать. К тому же, датчик обычно размером со спичечный коробок, что создаёт определённые неудобства. Однако у такой системы свои преимущества: к примеру, нет проблем с распознаванием маркеров – они не перемешиваются и не скрываются от камеры за другими предметами.



Фото 1. Технология инерционного, магнитного мокапа

Также есть оптическая безмаркерная технология, которая позволяет захватывать движение, имея только видео-изображение или карту глубины. То есть мы можем получить двигающийся скелет или болванку, просто встав перед камерой. Но безмаркерная система выдаёт очень условную информацию, и движение неплохо считывается только когда камера хорошо видит силуэт актёра; снять же скрещенные руки на груди, или двух обнимающихся актёров – почти невозможно. Но эта технология активно развивается, хотя вряд ли в обозримом будущем будет использоваться в серьёзном производстве мокапа.

На нашей студии используются оптически пассивные системы. На тело или специальный костюм актёра крепятся маркеры. Является достаточным для описания движения 50 штук. Для гарантии добавляют несколько избыточных маркеров. Датчики представляют собой небольшие пластмассовые шарики (от 3 до 25 мм в диаметре), обработанные специальным материалом для оптической видимости в инфракрасном диапазоне спектра.

Камера со встроенным светодиодным источником стробоскопического света и тремя встроенными процессорами выполняет распознавание изображения в реальном времени и вычисляет положение маркера в двухмерном пространстве кадра. Яркость видео уменьшается так, чтобы на экране не осталось ничего, кроме ярких точек. После того как мы получили облако точек или же объектов, мы можем прицепить к ним ригг и получить движение уже скелета или болванки со схожими актёру пропорциями. Для этого существуют разные алгоритмы и софт, который обычно поставляется вместе с оборудованием. Чем больше маркеров на актёре, тем больше



Фото 2. Оптическая безмаркерная технология



Фото 3. Роррим Бо – проект студии

должно быть расстояние между ним и камерами. Слишком далеко камеры ставить нельзя, они сольются в однородное светлое пятно. Вот и приходится выбирать: либо побольше маркеров и куча помех, либо небольшое число датчиков, но чуть дёрганая анимация.

Если цифровой персонаж полностью совпадает с пропорциями актёра, то движение передаётся наиболее точным образом. Но если пропорции разные, то начинаются проблемы. Процесс переноса движения с актёра на персонаж называется ретаргетинг (перенацеливание). И это уже более творческий момент – как сделать так, чтобы движение совпадало, хотя ноги в два раза короче, а руки в два раза длиннее. Мы разрабатывали персонаж Роррим Бо, с гипертрофически большой головой, короткими ногами и длинными стопами. Проблема состояла в том, что центр тяжести персонажа находится не там, где у актёра. Невозможно было добиться реалистичности героя, не привязывая утяжелители к голове. Огромную роль играет профессиональная подготовка актёра. В нашем случае на эту роль мы приглашали известного актёра Александра Олешко.

### Технические проблемы тосар

На деле мы всё ещё сталкиваемся с проблемой перекрытия маркеров при использовании оптических систем motion capture (ситуация, когда между меткой на теле актёра и камерами оказывается непрозрачный предмет). Если камера их не видит, захват, в принципе, невозможен. Иногда приходится специально разрабатывать сцену таким образом, чтобы система могла видеть маркеры хотя бы частично. Например, щит или меч для актёров пришлось делать из проволоки. Другая проблема – физический размер области, на которой можно выполнить съёмку. Пока на теле можно разместить достаточное количество датчиков, и они видимы для камер, никаких проблем нет. Камеры имеют повышенную чувствительность в инфракрасной зоне и порой воспринимают любые блестящие предметы, находящиеся за съёмочным периметром как датчики, что замедляет процесс работы. С этим мы сталкиваемся, когда работаем на открытых площадках.

Основными плюсами технологии захвата движения является упрощение труда аниматоров и сокращение времени на производство, что в итоге уменьшает общую стоимость разработок. А также с помощью мокапа можно добиться реализма, недоступного традиционным методам анимации. Но это может являться и главной причиной отказа от этой технологии. К примеру, если движения персонажей в игре изначально задуманы под-

чёркнуто нереалистичными, motion capture принесёт скорее вред, чем пользу. Придётся потратить много времени на доработку «захваченного» материала.

Сам процесс захвата движения занимает мало времени, доработка данных может потребовать массу усилий. Иногда легче выбросить негодный материал и всё пере-снять, чем дорабатывать его вручную. Если движения не слишком сложные и данные не нуждаются в тотальной чистке – то всё быстро.

На данный момент в нашей работе мы используем 16 оптических камер по 16 megapixels и справляемся со сценами, в которых участвуют один-два актёра. В настоящий момент программное обеспечение может поддерживать до 364 камер. Камеры работают в двух режимах: передача координат центра маркера или передача полного кадра в оттенках серого со смещением видимости в инфракрасную зону спектра. Это означает: субпиксельное разрешение камеры, вычисляемое на основе яркости каждого пикселя, достигает 1.200.000x880.000 пикселей, что могло бы позволить работать без маркеров, используя специальный плагин.

В настоящий момент мы проводим съёмки в любой местности при положительной температуре и без осадков. Работаем не только с людьми, но и животными – такими, как собака, кошка, для них изготавливается специальный костюм, и работа происходит по тому же принципу.

#### Разница между ручной и мокап-анимацией

Мокап-технология, в первую очередь, выигрывает по времени изготовления анимации. Ручная анимация (одним аниматором) делается от 3 до 6 секунд в день, а при



Фото 4. Мокап животного

помощи технологии мокапа можно снять до 4 часов «сырой анимации» и за рабочую смену почистить от 500 до 3000 кадров – это 20–120 секунд, зависит от необходимости «доанимации».

В творческом плане мокап почти всегда проигрывает качественной ручной анимации, потому что актёру тяжело быть настолько точным, выразительным, а главное, так скрупулёзно подходить к движению, как это делает аниматор. Но с другой стороны, действительно классных аниматоров не так много, как хотелось бы, и мокап является отличным способом улучшить мастерство и понять принципы движения.

В настоящий момент вывод делать рано, так как технология мокапа в России достаточно сырая и ещё только развивается, но в любом случае – это прогресс в анимации, который виден на примере Голливуда. ■



Фото 5. Съёмочный процесс



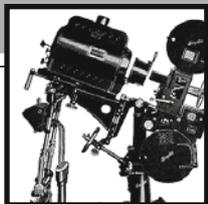
Фото 7. Костюмы для Motion Capture



Фото 6. Камеры



Фото 8. Просмотровый зал



# ВЛИЯНИЕ СИММЕТРИЧНЫХ И АСИММЕТРИЧНЫХ ПЕРЕКРЁСТНЫХ ПОМЕХ на восприятие глубины в стереограммах разного типа



Г.И. Рожкова, д.б.н., ИППИ РАН им. Харкевича

## Аннотация

Проанализированы опубликованные экспериментальные данные о влиянии перекрёстных помех на восприятие глубины в стереограммах, полученные для изображений разного типа. В ходе собственных экспериментальных исследований обнаружено, что при определённой структуре изображений эффект перекрёстных помех радикально зависит от их распределения по двум каналам, и что в случае асимметричных помех даже 100%-ный уровень паразитного сигнала в одном из каналов не исключает возможности восприятия глубины на основе бинокулярной диспаратности. Обсуждаются структурные элементы зрительной системы человека, которые способны обеспечить такую возможность.

**Ключевые слова:** стереограммы, восприятие глубины, сепарация изображений, перекрёстные помехи, типы изображений.

■ Перекрёстные помехи (*crosstalk*) являются одной из наиболее серьёзных проблем при восприятии стереоизображений. Исходно этот термин употреблялся в телефонии и радиотехнике и означал перекрёстную наводку, диафонию – двухстороннее просачивание сиг-

EFFECTS OF SYMMETRIC AND ASYMMETRIC CROSSTALK ON DEPTH PERCEPTION IN STEREOGRAMS OF DIFFERENT TYPES

G. Rozhkova

## Abstract

Recently published experimental data on the influence of crosstalk on the perceived depth in the stereograms with different types of images have been analyzed. In the course of own experimental investigations, it has been revealed that, for certain types of images, the influence of crosstalk is radically dependent on the distribution of the noise signals between the two channels and that, in the case of asymmetry, even 100% -level of parasitic cross-signal in one of the channels doesn't exclude a possibility of depth perception on the basis of binocular disparity. The structural elements of the human visual system that could be responsible for this possibility have been discussed.

**Keywords:** stereograms, depth perception, left-right image separation, crosstalk, image type.

налов из одного канала передачи информации в другой, смежный. Буквальный перевод термина (*перекрёстный разговор*) отражает тот факт, что при общении абонентов по одному каналу связи иногда можно слышать разговор по другому каналу и участвовать в нём.

В радиосвязи обычная причина перекрёстных помех – перекрытие частотных диапазонов двух или более каналов, работающих одновременно. Влияние каналов друг на друга может быть симметричным и асимметричным. Асимметрия может, например, наблюдаться при существенной разнице в ширине полосы рабочих частот взаимодействующих каналов.

В стереоскопии перекрёстные помехи – это частичное попадание изображения, предназначенного правому глазу, в левый канал, а предназначенного левому – в правый, т.е. неполное разделение двух изображений стереопары. Такие помехи ухудшают качество видимых стереообразов в нескольких отношениях: уменьшают воспринимаемую глубину и искажают пространственные взаимоотношения, создают нечёткость и двоение контуров, порождают паразитные объекты-фантомы [7, 8, 13–15]. Возникающие из-за этого неопределённости в оценке формы контуров и взаимного расположения деталей изображённых на стереограмме объектов затрудняют работу механизмов зрительного анализа и вызывают ощущение повышенной зрительной нагрузки.

Основные причины перекрёстных помех в стереокино и стереотелевидении – это погрешности технических систем сепарации изображений стереопары, применяемых в процессе демонстрации стереофильмов. Такие погрешности имеют место при любых методах сепарации, кроме механического разделения оптических каналов для левого и правого изображений – например, как в зеркальных стереоскопах. Конкретные причины перекрёстных помех, которые перечисляются ниже, специфичны для каждого метода сепарации.

*Временной, или затворный, метод:* недостатки затворных механизмов (частичное пропускание парного изображения), значительное световое последствие, десинхронизация работы очковых фильтров и механизма альтернирования – чередования левого и правого изображений на экране.

*Поляризационный метод:* недостаточная селективность очковых фильтров, приводящая к неполному разделению изображений с разной поляризацией; дефекты экрана, нивелирующие или искажающие поляризацию проецируемых на него изображений; рассогласованность характеристик очковых фильтров и предъявляемых изображений; чувствительность к наклону головы зрителя по отношению к вертикали (при линейной поляризации).

*Цветовой метод:* перекрывание спектральных характеристик левого и правого очковых фильтров в рабочем диапазоне; несоответствие характеристик фильтров и спектров изображений.

*Автостереоскопические технологии:* неточности изготовления и наложения раstra на параллаксграмму; просачивание лучей от парного изображения на границах соседних ракурсов; неверные позиции глаз, попадающие в зоны смещения лучей от левого и правого изображений.

Симметрия/асимметрия перекрёстных помех в стереоскопии определяется степенью функциональной симметрии сепарирующих механизмов. К примеру, при цветовой сепарации асимметрия будет иметь место, если один очковый фильтр хорошо выделяет предназначенное ему изображение, а через парный фильтр видно не только нужное изображение, но и второе, не полностью отфильтрованное. В качестве естественной количественной меры уровня перекрёстной помехи  $p$  в данном канале используют отношение яркости «чужого», или «паразитного», изображения  $B_n$  к яркости «своего», или основного, изображения  $B_o$ , выражаемое в процентах:  $p = (B_n/B_o) \times 100\%$  [13]. Наряду с этим, в стереоскопической литературе фигурирует также коэффициент сепарации – отношение разности яркостей основного и паразитного изображений к яркости основного:  $K = (B_o - B_n)/B_o = 1 - B_n/B_o$ . В данной работе везде, где это необходимо, будет указываться уровень помехи в процентах.

Встречающиеся на практике в демонстрационных кинотеатрах уровни перекрёстных помех варьируют по величине от нескольких процентов до двух-трёх десятков. В последние годы в публикациях отмечается, что совершенствование современных 3D технологий может обеспечить снижение уровня перекрёстных помех до единиц и даже долей процента [5, 8, 16], что позволит решить проблему их негативного влияния. Однако, поскольку улучшение системы практически всегда связано с повышением стоимости, очевидно, что в массовом использовании ещё достаточно долго будут распространены не слишком совершенные системы с ощутимым уровнем перекрёстных помех. Поэтому детальные исследования формирования стереообразов при наличии перекрёстных помех в настоящее время остаются актуальными не только в научном плане – для уточнения особенностей функционирования бинокулярных зрительных механизмов, но и с практической точки зрения – для обоснования допустимых уровней перекрёстной помехи.

В данной работе обсуждаются литературные и собственные данные, касающиеся влияния перекрёстных помех на восприятие глубины в изображениях разного типа.

### Анализ литературных данных

Учитывая сложность строения бинокулярной зрительной системы человека и наличие в ней параллельных автономных подсистем, способных производить оценку глубины по разным признакам, можно предположить, что степень негативного влияния перекрёстных помех должна зависеть от типа изображений. Однако систематических исследований на эту тему практически нет, и прежде чем перейти к рассмотрению отдельных данных, имеющих в ряде статей, остановимся кратко на общих вопросах.

Публикации, касающиеся влияния перекрёстных помех на стереопсис, можно подразделить на три группы.

К первой группе можно отнести работы, в которых рассматриваются оптико-геометрические проявления перекрестных помех. Эти проявления легко предсказуемы и очевидны:

- двоение и потеря чёткости линий и границ,
- появление ложных контуров и конфигураций (фантомов),
- искажение пространственных отношений.

Действительно, попадание в один глаз двух изображений – не только своего, но и парного, соответствующего другому ракурсу, – на уровне сетчатки неизбежно приведёт к появлению двойных линий и границ в изображениях всех объектов, имеющих ненулевую диспаратность, которые должны восприниматься вне плоскости экрана. При небольших значениях диспаратности двойники будут почти сливаться, и потому вместо двоения может наблюдаться как бы потеря чёткости. Кроме того, дополнительные линии и границы могут объединяться с фрагментами основного изображения, порождая неадекватные конфигурации, не имеющие источников в исходных изображениях. Такого рода искажения сетчаточных изображений, образующих стереопары, в той или иной мере должны проявляться в искажениях пространственных образов. Это легко пояснить на примере стереопары, кодирующей пару вертикальных полос, находящихся на разной глубине: при существенном уровне перекрестных помех паразитные изображения создадут новую пару полос с относительной диспаратностью противоположного знака по отношению к основной паре (как в псевдоскопе) и породят образ отсутствующей в исходной стереограмме пары полос с инвертированным взаимным расположением.

Во вторую группу можно объединить работы, посвящённые изучению субъективных ощущений, отражающих присутствие перекрестных помех. Такие исследования проводятся, в основном, путём анкетирования. В анкетах содержатся вопросы, позволяющие оценить:

- качество воспринимаемых образов с учётом указанных выше признаков, а также степени естественности, или гармоничности, видимых сцен;
- наличие зрительного дискомфорта (напряжения в глазах, слезотечения, покалывания и других астенопических симптомов);
- общее ухудшение самочувствия (появление головной боли, тошноты, слабости);
- увеличение ощущаемой зрительной нагрузки.

Конкретные ссылки на работы первой и второй групп в данной статье не приводятся, так как только работы третьей группы имеют к ней непосредственное отношение.

К третьей группе работ можно отнести количественные исследования, целью которых является:

- оценка пороговых уровней перекрестных помех, т. е. наименьших значений, при которых обнаруживаются какие-либо достоверные проявления их присутствия (используются разные критерии);

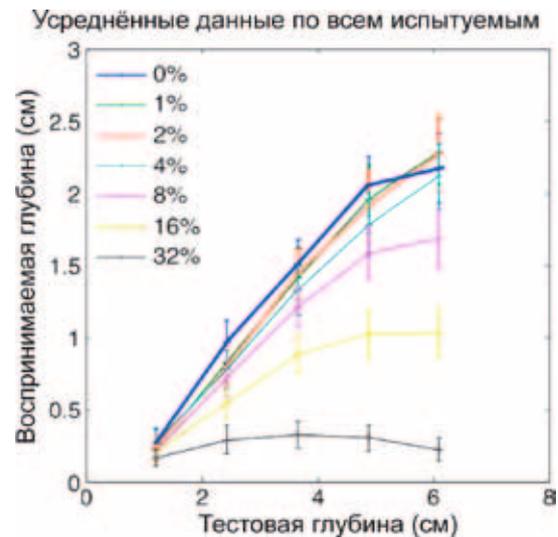


Рис. 1. Средние данные о зависимости воспринимаемой глубины от уровня перекрестной помехи из работы Цирлин и др. [9]

– оценка допустимых уровней перекрестных помех, т. е. максимальных уровней, обеспечивающих удовлетворительное качество восприятия (по определённым критериям);

- экспертная оценка уровня перекрестных помех в конкретной тестируемой системе для учёта этого показателя пользователями.

Обычно экспертная оценка проводится путём сопоставления качества изображений, получаемых при помощи тестируемой системы, и аналогичных изображений, воспроизводимых некоторой эталонной системой с нулевым собственным уровнем перекрестных помех в условиях их искусственного добавления и регулирования.

Относительно пороговых значений большинство авторов разделяет мнение, что качество воспринимаемых стереообразов достоверно ухудшается уже при уровне перекрестных помех всего в 2%. Если же в качестве критерия взять появление зрительного дискомфорта, то пороговые уровни возрастут до 5% [7, 8]. Проведённые в последние годы более тщательные и разносторонние исследования показали, что пороговые уровни перекрестных помех демонстрируют значительную индивидуальную вариабельность и могут существенно зависеть от типа исходных изображений. В качестве примера можно привести данные из работ [9, 10].

В статье Инны Цирлин с соавторами [9] приведены результаты оценки влияния перекрестных помех разного уровня на восприятие глубины по двум признакам – диспаратности и монокулярной окклюзии. Во втором случае тестовая линия присутствовала только в левом или только в правом изображении стереопары сбоку от центрального прямоугольника, как бы перекрывающего лучи от этой линии до одного из глаз (стереопсис Леонардо Да Винчи). Для примера на рис. 1 и 2 представлены данные, относящиеся к оценке глубины на основе дис-

паратности. В соответствующих экспериментах на установке, имитирующей зеркальный стереоскоп и потому не имеющей перекрёстных помех, испытуемым предъявляли пары линий с варьируемой диспаратностью. Требовалось оценивать глубину расположения линий по отношению к экрану в условиях добавления дозированных перекрёстных помех, которые вводились искусственно, что позволяло точно контролировать и варьировать их уровень. На рис. 1 по ординате отложены усреднённые по всем испытуемым (9 человек) оценки глубины при разных значениях диспаратности и уровнях перекрёстных помех. Для большей наглядности на оси абсцисс указана не диспаратность, а расчётная глубина.

Анализируя приведённые графики, легко видеть, что до уровня 4% включительно влияние помех выразилось не более чем в 10–12%-ном уменьшении воспринимаемой глубины по сравнению со случаем нулевых помех, помехи в 16% уменьшали глубину более чем вдвое, а помехи в 32% практически исключали возможность восприятия глубины по диспаратности.

При этом различия в индивидуальных данных были весьма значительны. Из рис. 2, где представлены кривые, характерные для наиболее и наименее чувствительных к помехам испытуемых, видно, что у первых уровень 8% приводил к резкому уменьшению воспринимаемой глубины, тогда как у вторых практически не сказывался на оценках. Что же касается сравнения степени влияния перекрёстных помех на восприятие глубины в изображениях разного типа, использованных в цитируемой работе, то оказалось, что в случае стереопсиса Леонардо Да Винчи негативный эффект таких помех существенно больше. Например, добавление помехи в 8% в случае стереопсиса на основе диспаратности приводило лишь к умеренному (около 20%) уменьшению воспринимаемой глубины, а в случае стереопсиса Леонардо Да Винчи воспринимаемая глубина уменьшалась более чем втрое.

Данные, приведённые в работе [10], подтверждают и дополняют изложенную информацию о зависимости влияния перекрёстных помех от типа изображений. Испытуемые в этой работе оценивали качество изображений, содержащих различные объёмные предметы

и предъявляемых на автостереоскопическом дисплее параллакс-барьерного типа, при наличии и в отсутствие таких признаков трёхмерности как линейная перспектива и тени. В качестве эталона использовали зеркальную стереосистему с регулируемым уровнем искусственно вводимых помех (как и в работе [9]). Полученные эквивалентные уровни перекрёстных помех варьировали в зависимости от типа изображений примерно от 18 до 34%, т. е. различались почти в 2 раза.

### Исследование восприятия стереопар в условиях несимметричных перекрёстных помех

Работая долгое время с компьютерными тестовыми и тренировочными программами, обеспечивающими генерацию специальных стереограмм для развития бинокулярных функций, мы обратили внимание на то, что при больших различиях в качестве левого и правого изображений воспринимаемый образ обычно близок по качеству к лучшему изображению, так что даже трудно заподозрить плохое качество второго. При постепенном снижении качества (резкости, контраста, яркости) одного изображения воспринимаемая пространственная конфигурация нередко оставалась практически неизменной на значительной части интервала изменений. Было также замечено, что при рассматривании случайно-точечных стереограмм в условиях цветовой сепарации плохая селективность одного из очковых фильтров (т. е. в условиях сильной перекрёстной помехи в одном из каналов) мало мешает формированию чётких пространственных образов.

Такие наблюдения побудили нас провести исследование влияния несимметричных перекрёстных помех с использованием различных изображений и методов сепарации. В данной работе представлены парадоксальные результаты, полученные в ходе первых рекогносцировочных экспериментов.

Рассматривая анаглифные иллюстрации из монографии Юлеша [6] (пример на рис. 3) через прилагаемые к ней красно-зелёные очки, мы обнаружили, что в большинстве случаев наблюдаемые пространственные конфигурации мало меняются, если повернуть

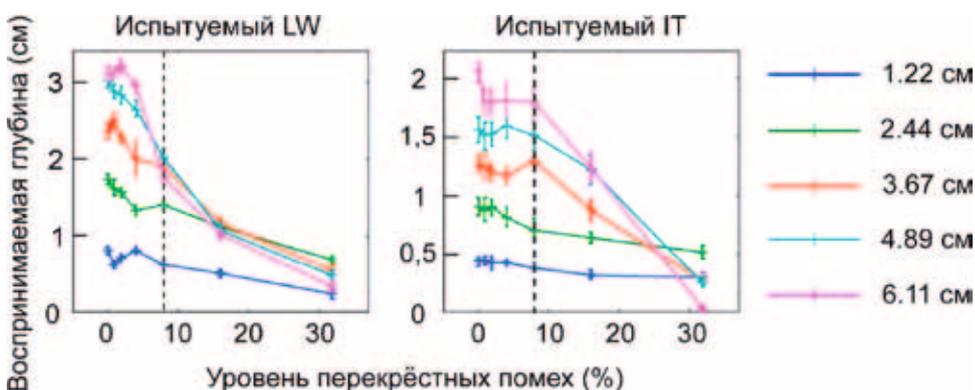


Рис. 2. Индивидуальные данные двух испытуемых о зависимости воспринимаемой глубины от уровня перекрёстной помехи из работы Цирлин и др. [9]

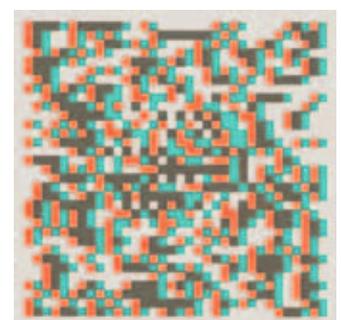


Рис. 3. Случайно-точечная стереограмма в анаглифном виде из монографии Юлеша [6]

очки на 90°, оставив только красный фильтр перед правым глазом, а левым глазом глядя на рисунок свободно. Другими словами, оказалось, что восприятие глубины на основе диспаратности возможно при установке цветного фильтра только перед одним глазом, т. е. в условиях, когда этот глаз предположительно видит предназначенное ему изображение (и ослабленное в какой-то степени чужое), а второй глаз видит сумму левого и правого изображений (получает 100%-ную перекрёстную помеху). Однако добиться аналогичного эффекта в симметричных условиях – оставив один зелёный фильтр перед левым глазом, было намного труднее. Для прояснения ситуации мы исследовали спектральные характеристики типографских красителей и очковых фильтров (рис. 4).

Приведённые графики позволяют заключить, что цветовая сепарация в этой системе очень несовершенна даже при наблюдении через оба фильтра: красители имеют широкие спектры, а селективность каждого фильтра слабая. Из сопоставления полученных спектров стало ясно, почему при односторонней фильтрации эффект глубины можно было получить относительно легко лишь в случае красного фильтра. Оказалось, что красный и зелёный фильтры существенно различаются по селективности: хотя каждый из них пропускает оба изображения, красный фильтр всё-таки лучше выделяет своё красное изображение, чем зелёный своё циановое, поскольку у зелёного фильтра имеется второй максимум в красной области.

Для дальнейшего изучения феномена мы перешли к использованию коммерческих очков с более селективными и более симметричными по селективности цветными фильтрами, характеристики которых приведены на рис. 5. Смена очков приводила к следующим изменениям видимых образов, возникающих при рассмотрении стереограмм Юлеша. Во-первых, при нормальном наблюдении через оба фильтра полностью исчезали цветовые оттенки, и видимая пространственная картина становилась чёрно-белой, тогда как при наблюдении через «книжные» очки цвета мало отличались от видимых без очков. Во-вторых, в случае наблюдения через один фильтр ситуация становилась более симметричной: зелёный фильтр перед левым глазом давал такой же эффект, как красный перед левым.

Однако видимая пространственная картина во всех ситуациях была примерно одинаковой, т. е. качество сепарации изображений мало сказывалось на воспринимаемой глубине.

Аналогичные эксперименты с наблюдением случайно-точечных стереограмм



Рис. 4. Спектральные кривые красителей, использованных в стереограммах Юлеша для левых и правых изображений (а), и цветных фильтров (б) в очках, прилагаемых к книге [6]

были также проведены в условиях их генерации на 3D дисплеях, обеспечивающих поляризационную сепарацию изображений. Эти стереограммы имели вид, показанный на рис. 6. На таких стереограммах, рассматриваемых одним глазом свободно, а вторым – через поляризационный фильтр, феномен успешного формирования пространственного образа при односторонней сепарации хорошо воспроизводится.

Наряду со случайно-точечными стереограммами, в экспериментах использовались стереограммы других типов, в которых изображались фигуры с чёткими контурами на однородном фоне (мебель на фоне стены), рыхлые объекты с нечётко обозначенными границами (облака), текстурированные поверхности и др. Пример стереограммы, включающей текстурированную поверхность и чёткий контур, приведён на рис. 7.

Предварительный анализ особенностей восприятия стереограмм различного типа позволяет предполо-

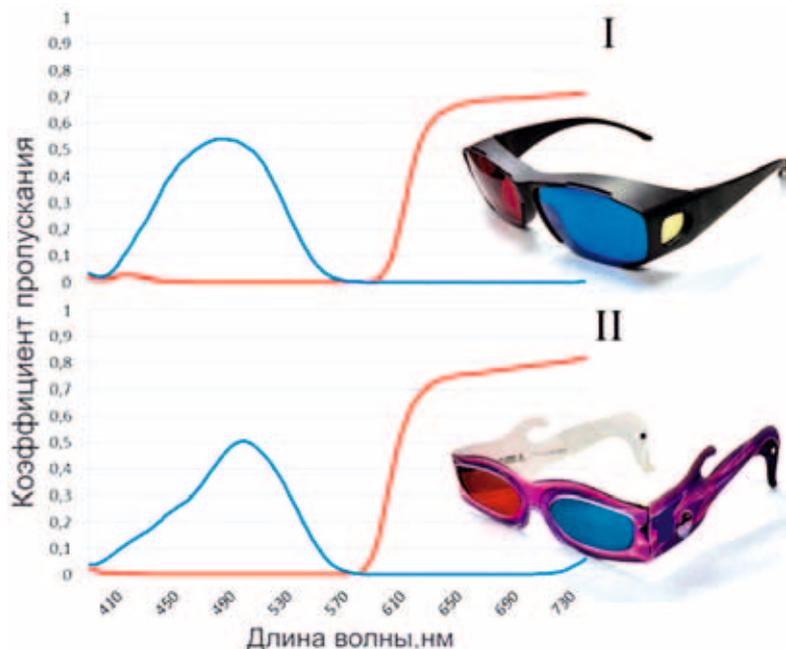


Рис. 5. Характеристики цветных фильтров из коммерческих очков, использованных в экспериментах

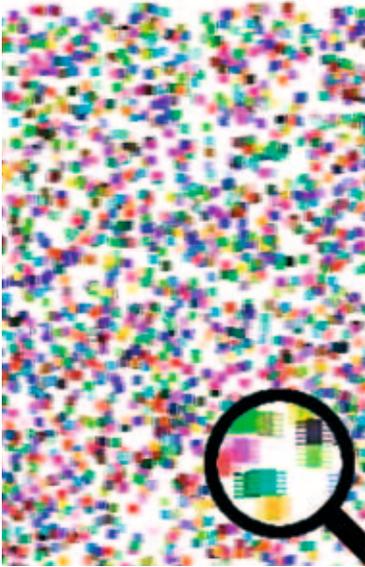


Рис. 6. Пример случайно-точечной стереограммы, предьявляющейся на экране 3D дисплея

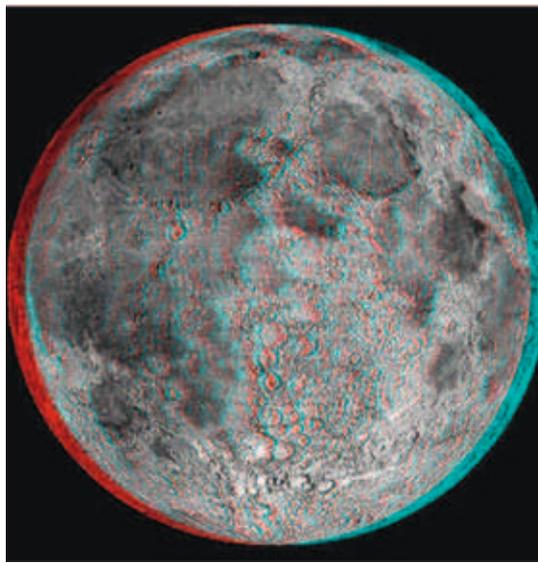


Рис. 7. Стереогрaмма в анаглифном виде (сайт <http://www.docstoc.com/docs/56982287/Stereo-Vision-and-Depth-Percepti>)

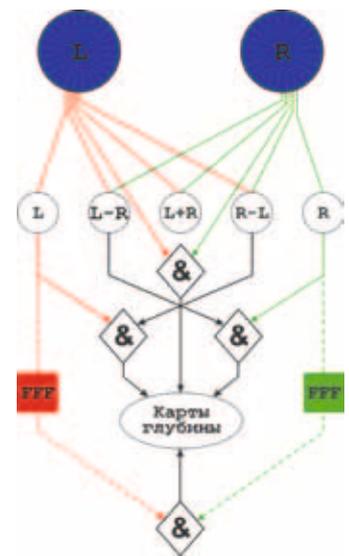


Рис. 8. Гипотетическая схема переработки зрительных сигналов

жить, что качество пространственных образов, формируемых в условиях наблюдения через один фильтр, зависит от степени вовлечённости в этот процесс чисто бинокулярных механизмов стереопсиса. Чем больше активность этих механизмов (активирующихся при наличии в стереограмме соответствующих признаков глубины), тем более весомый вклад вносят результаты их функционирования в видимую картину. Конкурентное влияние других механизмов может заметно уменьшать пространственные эффекты, в чём можно наглядно убедиться, сравнивая изменения воспринимаемой глубины в результате удаления одного из фильтров при рассмотрении рис. 3 и 7. Если при этом в случае рис. 3 воспринимаемая глубина меняется незначительно, то в случае рис. 7 картина уплощается примерно вдвое.

#### Возможное объяснение формирования стереообраза при наличии 100%-ной асимметричной перекрёстной помехи

С начала 80-х годов прошлого века в литературе по зрительному восприятию появляются всё более сложные схемы работы зрительной системы человека, свидетельствующие о наличии в ней множества параллельных автономных каналов переработки информации, поступающей в мозг от сетчаток двух глаз [1–4, 11, 12]. Теперь уже кажется очевидным, что информация о форме, цвете, движении и пространственном расположении рассматриваемых объектов должна обрабатываться в разных подсистемах, и, наоборот, трудно представить, как эти процессы можно было бы совместить. При формировании видимого образа происходит объединение уже готовых гипотез о свойствах сцены, выработанных разными подсистемами. Для объяснения обсуждаемых в данной статье феноменов важен тот факт, что оценкой

некоторых параметров и свойств рассматриваемой сцены в зрительной системе занимается несколько разных механизмов. В частности, давно установлено, что восприятие глубины может обеспечиваться многими механизмами, среди которых более дюжины монокулярных и несколько бинокулярных. Для краткости, остановимся только на бинокулярных механизмах, связанных с определением глубины на основе диспаратности в статических сценах.

Таких механизмов, по крайней мере, два типа: чисто бинокулярные и постмонокулярные [1, 2, 6, 11, 12]. Постмонокулярные механизмы занимаются сравнением почти сформированных монокулярными механизмами образов и уточняют их пространственные характеристики, учитывая диспаратность тождественных корреспондирующих деталей. Именно эти механизмы обычно подразумеваются, когда о бинокулярном зрении рассуждают в общем плане. Однако есть и другие механизмы, называемые чисто бинокулярными, при помощи которых не только уточняется глубина монокулярно отождествлённых деталей, но и делаются видимыми объекты, не воспринимаемые ни левым, ни правым глазом, если второй глаз закрыт. Такая ситуация может возникнуть в жизни, когда животные с защитной окраской сливаются с фоном, или при искусственном камуфляже.

Принято считать, что на нейроны чисто бинокулярных механизмов поступает почти сырая информация об изображениях на двух сетчатках, и совокупность этих нейронов вычисляет диспаратности путём поточечного сопоставления сетчаточных изображений. Однако такие нейроны не могли бы обеспечить вычисление диспаратности и последующее формирование пространственного образа в обсуждаемом нами случае 100%-ной перекрёстной помехи в одном из каналов, когда на один глаз

поступает смесь левого и правого изображений. Можно предположить, что в этом случае успешное вычисление диспаратности осуществляют нейроны, на один вход которых поступают прямые сигналы от одного глаза, а на другой – разностные сигналы от двух глаз. Эту ситуацию поясняет представленная на рис. 8 схема первых ступеней переработки зрительных сигналов.

Данная схема включает как реально обнаруженные, так и гипотетические элементы. К первым относятся монокулярные пути (L) и (R), моно-бинокулярные пути (L+R), нейроны которых получают и суммируют сигналы от двух глаз в разных пропорциях, и два отдела (верхний и нижний), обозначенные знаком &, нейроны которых относятся к чисто бинокулярной системе, чувствительны к диспаратности и обеспечивают определение глубины.

Гипотетическими являются в схеме разностные пути (L-R) и (R-L), а также два боковых отдела, обозначенных знаком &, нейроны которых получают на один вход монокулярные сигналы от одного глаза, а на второй вход – разностные сигналы. Легко видеть, что в условиях наблюдения, обсуждаемых в данной работе, когда, например, на правый глаз поступает хорошо отсепарированное правое изображение R, а на левый – сумма изображений L+R, элементы разностного канала (L-R) сумеют вычислить «чистое» левое изображение:  $L+R-R = L$ . После этого правый отдел &, куда поступят сигналы L и R, сможет вычислить диспаратности так же успешно, как и верхний отдел & в условиях хорошей сепарации обоих зрительных каналов.

Вероятность обнаружения указанных гипотетических путей весьма велика, так как и разностные элементы, и элементы конъюнкции обычны для нейронных сетей, а в схеме обработки сигналов от двух глаз представляются логичным дополнением. Во всяком случае, гипотеза о существовании таких путей даёт простое объяснение обсуждаемым парадоксальным феноменам и заставляет по-новому взглянуть на проблему перекрёстных помех.

### Заключение

– Степень влияния перекрёстных помех на восприятие глубины в стереоизображениях зависит от типа изображений.

– Высокая помехоустойчивость характерна для изображений типа случайно-точечных стереограмм, сильно возбуждающих чисто бинокулярные механизмы зрительного анализа, базовые функциональные нейроны которых активируются только при поступлении согласованных сигналов от обоих глаз.

– В случае асимметричных перекрёстных помех, при хорошем уровне сепарации изображений в одном из каналов, адекватное восприятие глубины возможно даже при 100%-ном уровне помехи во втором канале.

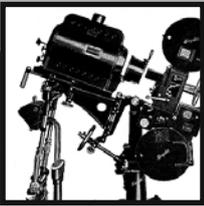
– При ограниченности времени и ресурсов, в некоторых случаях, по-видимому, целесообразно не распределять их поровну по двум каналам, а добиваться наилучшего качества изображений в одном канале.

– Особенности влияния асимметричных перекрёстных помех на восприятие глубины свидетельствуют о том, что в бинокулярной зрительной системе человека существуют чувствительные к диспаратности нейроны, получающие входные сигналы с двух разных уровней переработки информации. ■

*Автор выражает благодарность Е.Н. Крутцовой, М.А. Грачёвой и А.В. Белокопытову за техническую помощь в работе.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вульф Д.М. Скрытые зрительные процессы//В мире науки, № 4. с. 26–34, 1983.
2. Рожкова Г.И. Бинокулярное зрение//В кн. Физиология зрения. М.: Наука, с. 586–664, 1992.
3. Cogan A. I. Human binocular interaction: towards a neural model//Vision Res. Vol. 27 (12), p. 2125–2139, 1987.
4. Felleman D.J., Van Essen D.C. Distributed hierarchical processing in primate visual cortex//Cerebral Cortex. Vol. 1, p. 1–47, 1991.
5. Hammer M., Langendijk E.H.A. Reduced cross-talk in shutter-glass-based stereoscopic LCD//Journal of the Society for Information Display, Vol. 18 (8), p. 577–582, 2010. DOI: 10.1889/JSID.18.8.577
6. Julesz B. Foundations of cyclopean perception. Chicago and London: The University of Chicago Press. 406 p, 1971.
7. Kooi F.L., Toet A. Visual comfort of binocular 3D displays//Displays, Vol. 25, p. 99–108, 2004
8. Patterson R. Review paper: Human factors of stereo displays: An update//Journal of the Society for Information Display, Vol. 17 (12), p. 987–996, 2009. DOI: 10.1889/JSID.17.12.987
9. Tsirlin I., Wilcox L.M., Allison R.S. The effect of crosstalk on the perceived depth from disparity and monocular occlusions//IEEE Transactions on Broadcasting. Vol. 57 (2), p. 445–453, 2011.
10. Wang P.C., Hwang S.L., Huang H.Y., Chuang C.F. System cross-talk and three-dimensional cue issues in autostereoscopic displays//Journal of Electronic Imaging. Vol. 22 (1), p. 013032 (1–13), 2013. DOI: 10.1117/1.JEI.22.1.013032.
11. Wolfe J.M. Stereopsis and binocular rivalry//Psychol. Rev. Vol. 93 (3), p. 262–282, 1986.
12. Wolfe J.M., Held R. A purely binocular mechanism in human vision//Vision Res. Vol. 21 (12), p. 1755–1759, 1981.
13. Woods A.J. How are crosstalk and ghosting defined in the stereoscopic literature////IS&T/SPIE Electronic Imaging. International Society for Optics and Photonics, p. 78630Z (1–12), 2011
14. Woods A.J., Harris C.R. Comparing levels of crosstalk with red/cyan, blue/yellow, and green/magenta anaglyph 3D glasses//Stereoscopic Displays and Applications XXI, Vol. 7253, p. 0Q1–0Q12, 2010.
15. Yeh Y., Silverstein L. Limits of fusion and depth judgments in stereoscopic color displays//Human factors, Vol. 32 (1), p. 45–60, 1990.
16. Zhou M., Wang H., Li W., Jiao S. et al. A unified method for crosstalk reduction in multiview displays//Journal of Display Technology, Vol. 10 (6), p. 500–507, 2014. DOI: 10.1109/JDT.2014.2305995.



# ИНФОРМАЦИОННАЯ ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ КИНЕМАТОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТИВОВ



С.Б. Бирючинский, к.ф.-м.н., ООО «Оптико-механические системы»

## Аннотация

Рассмотрен вопрос оценки информационной пропускной способности кинематографических объективов как системы, осуществляющей преобразование изображения предмета. Описывается метод оценки качества объективов по критерию максимального количества передаваемой информации. Даются рекомендации по практическому использованию предлагаемой методики.

**Ключевые слова:** объектив, aberrации, оптическая система, преобразование изображения, пропускная способность, высокая чёткость.

## INFORMATION BANDWIDTH OF CINEMA LENSES

S. Biryuchinskiy

*Variants of architecture modern cinema anamorphic lens are considered. Comparison of the main consumer qualities of various configurations lenses is executed. Author's workings out of optical systems for anamorphic high definition filming, including 3D are resulted.*

**Keywords:** lens, aberrations, optical system, image transform, bandwidth, high definition.

■ Информационная пропускная способность оптической системы является важнейшей характеристикой кинематографических объективов, позволяющей оценить потребительские качества системы. Для практического использования наиболее приемлемо измерение количества передачи информации в относительных единицах (например, относительно безаберрационной оптической системы с аналогичными характеристиками). Это позволяет более эффективно разрабатывать и исследовать оптические системы в связке с фотоприёмниками различной структуры. Следует отметить, что часто описываемые в литературе критерии качества объектива, основанные на «частоте Найквиста», приводят к недостоверным результатам (предельная пропускная способность канала связи определяется формулой Шеннона, но для задач кинематографии подобные критерии неэффективны).

Существуют различные критерии оценки качества изображения [1-6] и его информационной ёмкости. Наиболее часто используемым на практике является критерий раз-

решающей способности (лин/мм) по центру и краям кадра. Значительно реже применяется критерий в виде графиков функций передачи модуляции (МТФ), как правило, полихроматических. Зная числовую апертуру объектива и сравнивая ход кривых реального объектива с кривой функции передачи модуляции идеальной оптической системы, можно примерно оценить уровень вносимых aberrаций и назначить объектива («жёстко» или «тепло» рисующий). На практике информация об МТФ публикуется ограниченно, поэтому надёжность данного критерия не всегда достаточна. Применение в качестве критерия числа Штреля для оценки информационной пропускной способности кинообъектива эффективно только при его величине более 0,8, и неэффективно при значении менее 0,5 (большинство современных кинообъективов обладают числом Штреля, значительно меньшим 0,5).

Некоторые aberrации оптических систем не оказывают заметного влияния на информационную пропускную способность кинематографического объектива. К ним относятся дисторсия и некоторые виды хроматизма (при

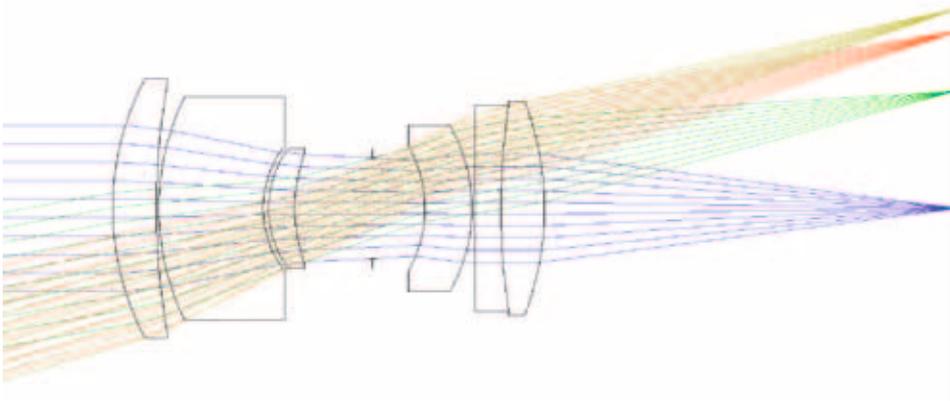


Рис. 1. Оптическая схема блока стереобъектива; фокусное расстояние 50 мм, диагональ кадра 31 мм

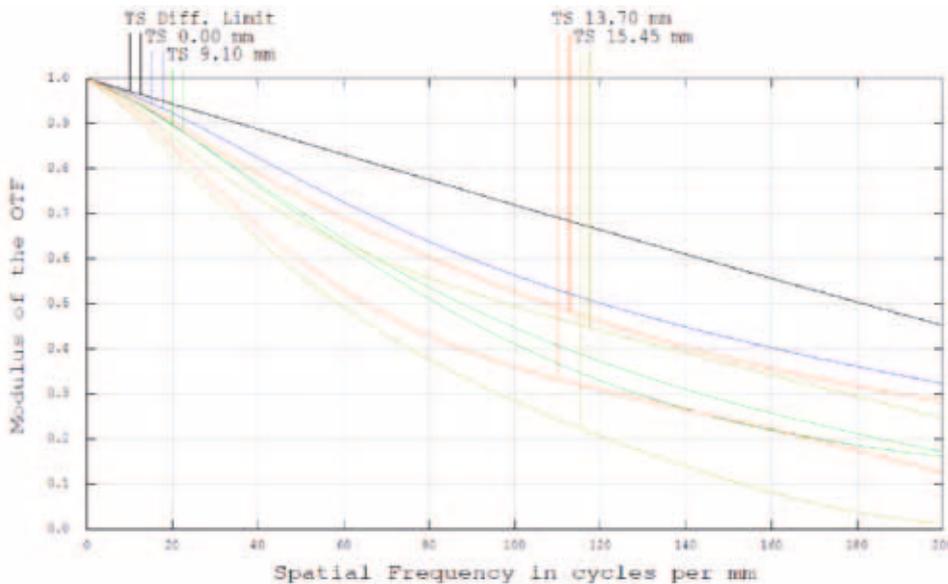


Рис. 2. Полихроматическая функция передачи модуляции для объектива на рис. 1

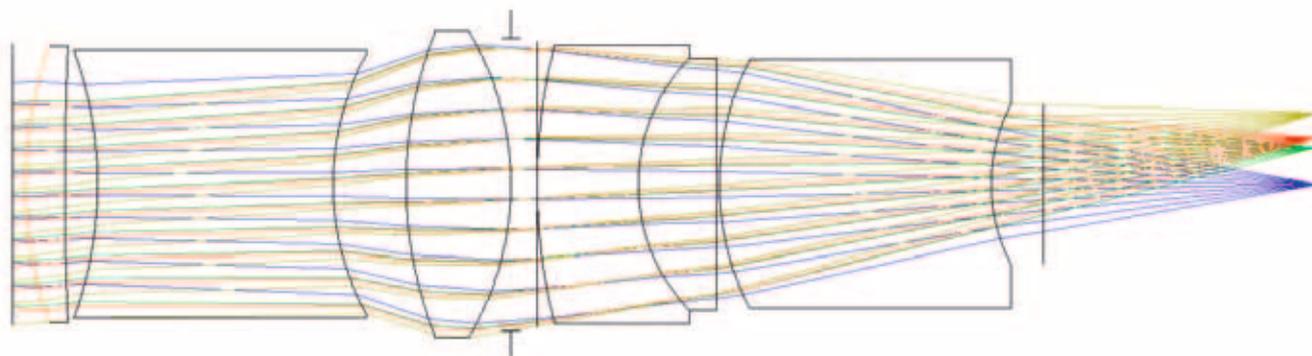
определённых оптико-геометрических характеристиках фотоприёмника). При этом следует учитывать, что хорошая коррекция дисторсии (особенно это заметно для широкоугольных систем), при прочих равных условиях, достигается за счёт ухудшения качества изображения по полю, что приводит к уменьшению количества пропускаемой информации объективом. Особенно сложно данная задача решается для широкоугольных и сверхширокоугольных объективов (поле зрения более 90°), так как введение дисторсии необходимо для поддержания качества изображения и освещённости по полю на приемлемом уровне (с уменьшением дисторсии растёт виньетирование). Что касается хроматизма, то по техническим требованиям он должен по возможности быть максимально скорректирован, так как иначе страдают потребительские качества системы.

На рис. 1 в качестве примера приведена оптическая схема блока стереобъектива с относительным отверстием 1:2,8, рассчитанного в соответствии с требованиями максимального количества передаваемой информации. Оптимизация объектива проводилась для нескольких

значений дистанции до объекта. При некотором ухудшении качества системы на дистанции «бесконечность», за счёт улучшения на более коротких дистанциях, в целом количество передаваемой информации увеличивается. Оптимизация по полю проведена с приоритетом периферийных зон кадра, что, несмотря на ухудшение разрешающей способности по центру (~ на 30%), привело к более чем двукратному росту общей пропускной способности по сравнению с традиционными методами. Если сравнить графики MTF с дифракционным пределом (рис. 2), то видно, что на высоких пространственных частотах объектив далёк от идеальной системы, кроме того, заметно различие разрешающей способности в разных плоскостях на периферии кадра (в основном, за счёт астигматизма). Всё это указывает на недостаточность данных MTF для корректной оценки системы.

На рис. 3 показана оптическая схема проекционного объектива, разработанного автором. Объектив предназначен для работы в видимом диапазоне (420 нм–680 нм) и имеет относительное отверстие 1:3. Графики полихроматической функции передачи модуляции близки к дифракционному пределу, что иллюстрирует рис. 4. С точки зрения оценки качества изображения, данный объектив близок к идеальному. Однако, если сравнить графики MTF для красного и синего канала (рис. 5 и 6, соответственно), то видно, что в системе присутствуют заметные aberrации, характер которых существенно зависит от длины волны излучения. В указанных каналах информационная пропускная способность будет снижена (особенно это заметно в синем канале на краю поля изображения).

Таким образом, обоснована необходимость применения критериев, основанных на геометрическом изображении точечных источников света. В простейшем случае (если известна расчётная кривая MTF системы), необходимо измерение значения пространственной частоты в фокальной плоскости объектива для нескольких значе-



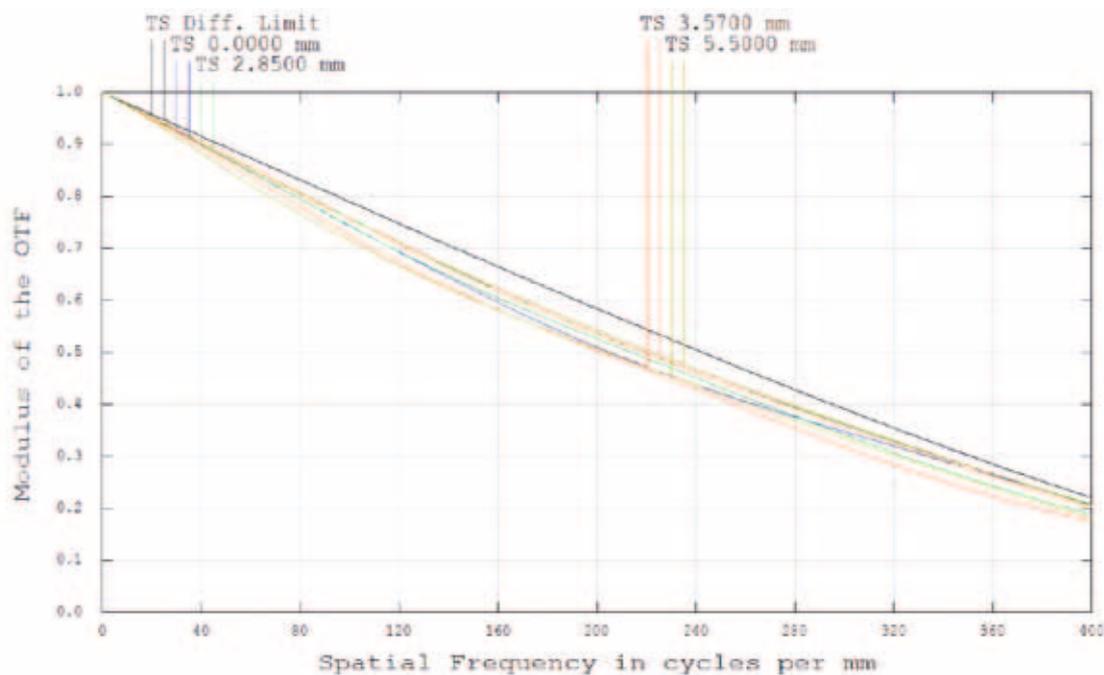
Layout

F40mm F#3.0 2/3'' (420-680nm)  
17.07.2012  
Total Axial Length: 99.77300 mm

Рис. 3. Оптическая схема проекционного объектива; фокусное расстояние 40 мм, диагональ кадра 11 мм

ний контраста. Для большинства задач кинематографии достаточно трёх измерений при значениях контраста: 0,8, 0,5, 0,2. В некоторых случаях (требование максимального насыщения информацией фотоприёмной системы с низким пространственным разрешением), вместо значения контраста 0,8 измерение ведётся для 0,9, что позволяет более эффективно отследить наличие в системе нежелательных aberrаций. Более точным является метод, основанный на анализе структуры пятна

рассеяния от точечного источника, рассчитанного геометрически. Расчёт ведётся для всего рабочего спектрального диапазона, при этом значения выбираемых длин волн могут быть выбраны неравномерно (в зависимости от назначения объектива). Для каждой длины волны оценивается не только размер пятна рассеяния (по заданному критерию), но и максимальная концентрация энергии (аналогично расчёту числа Штреля), несимметричность и (или) эллиптичность пятна, сме-



Polychromatic Diffraction MTF

F40mm F#3.0 2/3'' (420-680nm)  
17.07.2012  
Data for 0.4200 to 0.6800  $\mu\text{m}$ .  
Surface: Image

test 2 6lens 2a 3 1 i 2.ZMX  
Configuration 1 of 1

Рис. 4. Полихроматическая функция передачи модуляции для объектива на рис. 3

щение энергетического центра, а также интегральная неравномерность распределения освещённости (по заранее заданному критерию). Далее производится интегральная оценка неравномерности освещённости пятна для всего спектрального диапазона (таким образом численно оценивается влияние хроматизма на качество изображения). При этом может также учитываться статистический вес каждого спектрального канала, но с обязательным введением предельных значений отклонения, независимо от статистического веса. Рис. 6 показывает, что расчёт системы при задании статистического веса спектральных каналов в соответствии с чувствительностью фотоприёмника оказался недостаточно эффективным. На практике это выражается, например, появлением цветных ореолов вокруг ярких источников света, что частично можно компенсировать на этапе расчёта, правильно выбирая статистический вес спектрального канала.

Важным и полезным свойством предлагаемого метода является оценка информационной пропускной способности объектива одним числом, что позволяет эффективно использовать различные методы оптимизации (в основном, численные). Кроме того, возможно введение понятия объёмного количества передаваемой информации объективом (интегральная величина на всех рабочих дистанциях киносъёмки), что позволяет эффективно сравнивать и оценивать потребительские качества системы. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Shannon C.E. Communication in the presence of noise. Proc. Institute of Radio Engineers. Vol. 37. No. 1. P. 10–21. Jan. 1949.
2. Milton Laikin. «Lens Design», Fourth Edition, CRC Press 2006.
3. Бирючинский С.Б. Киносъёмочные стереообъективы высокой чёткости // МТК, 2009, № 13. – С. 19–22.
4. Cheng-Mu Tsai, b Yi Chin Fang, b Yu-Cheng Lin. Zoom Optics Design and Optimization with Digital Image Process // Proc. of SPIE Vol. 7061 706110 2008.
5. Beaulieu Julie, Gagné Christian, Parizeau Marc. Lens System Design and Re-Engineering with Evolutionary Algorithms // Proc. of GECCO 2002, July 9–13, New York.
6. Robinson M.D., Stork D.G. “Joint design of lens system and digital image processing”, Proc. SPIE 6342, 63421G (2006).

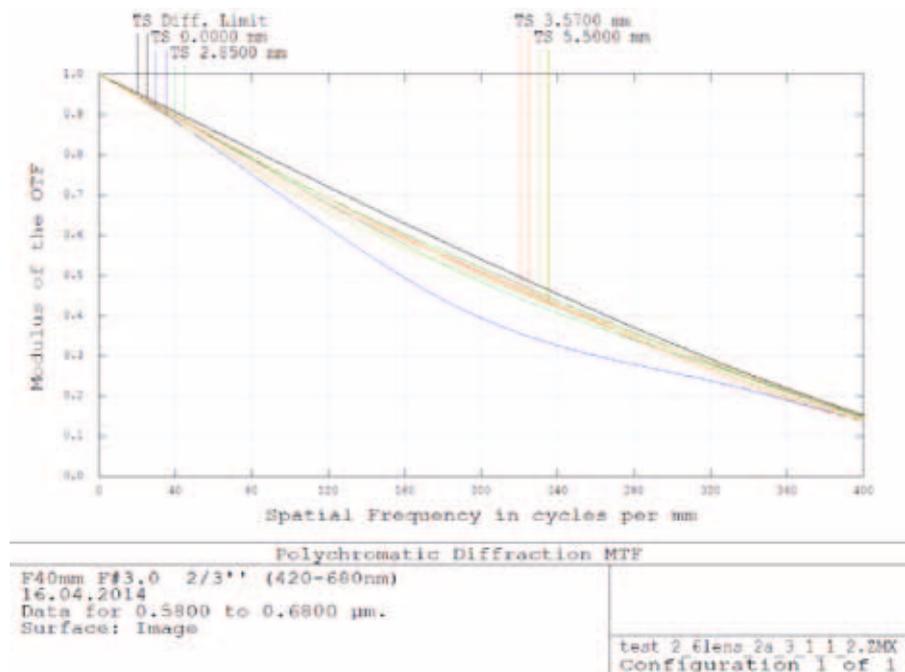


Рис. 5. Полихроматическая функция передачи модуляции для объектива на рис. 3 в красном канале

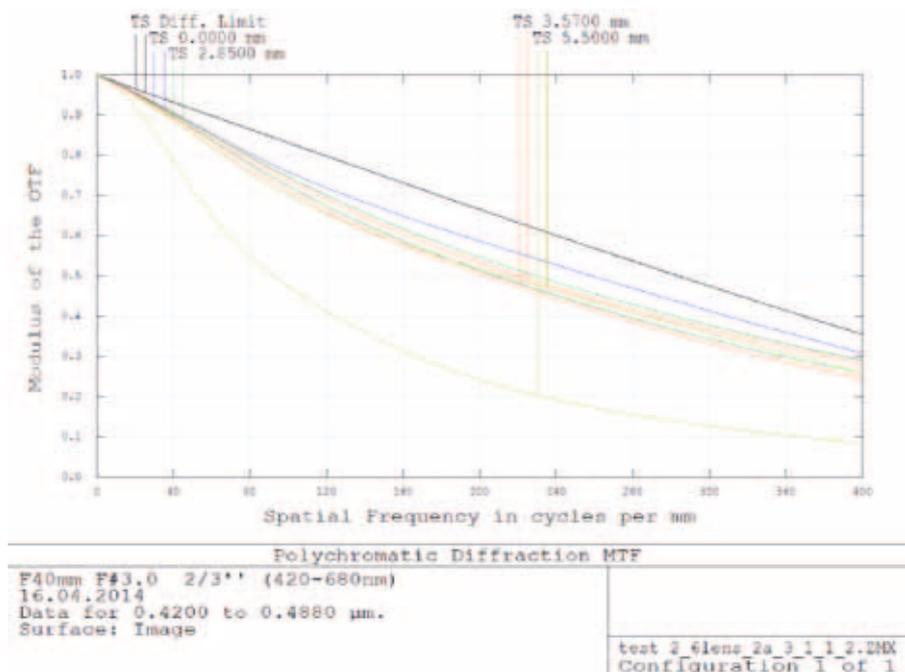
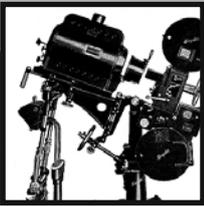


Рис. 6. Полихроматическая функция передачи модуляции для объектива на рис. 3 в синем канале



# ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ ИНДИКАТОР ЗНАКОВО-СИМВОЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ с многоуровневыми дифракционными решётками



А.Б. Соломашенко, С.С. Донченко, аспиранты, С.Б. Одинокоев, д.т.н.,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана

## Аннотация

Современные системы отображения позволяют представить визуальную информацию в удобном для восприятия виде – яркую, чёткую, с высоким разрешением. Существует множество систем вывода информации оператору, но к наиболее перспективным из них на сегодняшний день можно отнести голографические индикаторы, позволяющие видеть необходимую информацию на фоне реальной сцены. Использование таких систем отображения информации также актуально и в телевизионной, и компьютерной, и тому подобных сферах.

**Ключевые слова:** голографический индикатор, дифракционный оптический элемент, многоуровневые дифракционные решётки.

Одним из наиболее перспективных практических применений современной «плоской» оптики является разработка голограммных оптических элементов (ГОЭ) с бинарным и многоуровневым поверхностным рельефом, а также создание на их базе приборов и устройств. Использование ГОЭ в системах отображения информации вывело их на качественно новый этап развития, позволив существенно (в 2–3 раза) снизить массогабаритные параметры таких систем. Таким

HOLOGRAPHIC INDICATOR OF SIGNS AND SYMBOLIC INFORMATION WITH MULTILEVEL GRATINGS

S.B. Odinokov, A.B. Solomashenko, S.S. Donchenko

## Abstract

Modern display systems allow to present visual information at readable form - a bright and precise, with high resolution. There are many display information systems, but the most promising ones are holographic indicators. Holographic indicator based on binary and multilevel gratings is described.

**Keywords:** holographic indicator, diffractive optical element, multilevel diffraction grating.

образом, миниатюрные дисплеи и индикаторы с ГОЭ становятся на данный момент важной и неотъемлемой частью многих систем отображения информации и визуализации, особенно в системах отображения для автомобилей и самолётов, для мультимедийных систем и дополненной реальности, а также систем, где наблюдаемое изображение перекрывается с реальной сценой.

Актуальность разработки данного типа систем на основе голограммных оптических элементов со световодны-

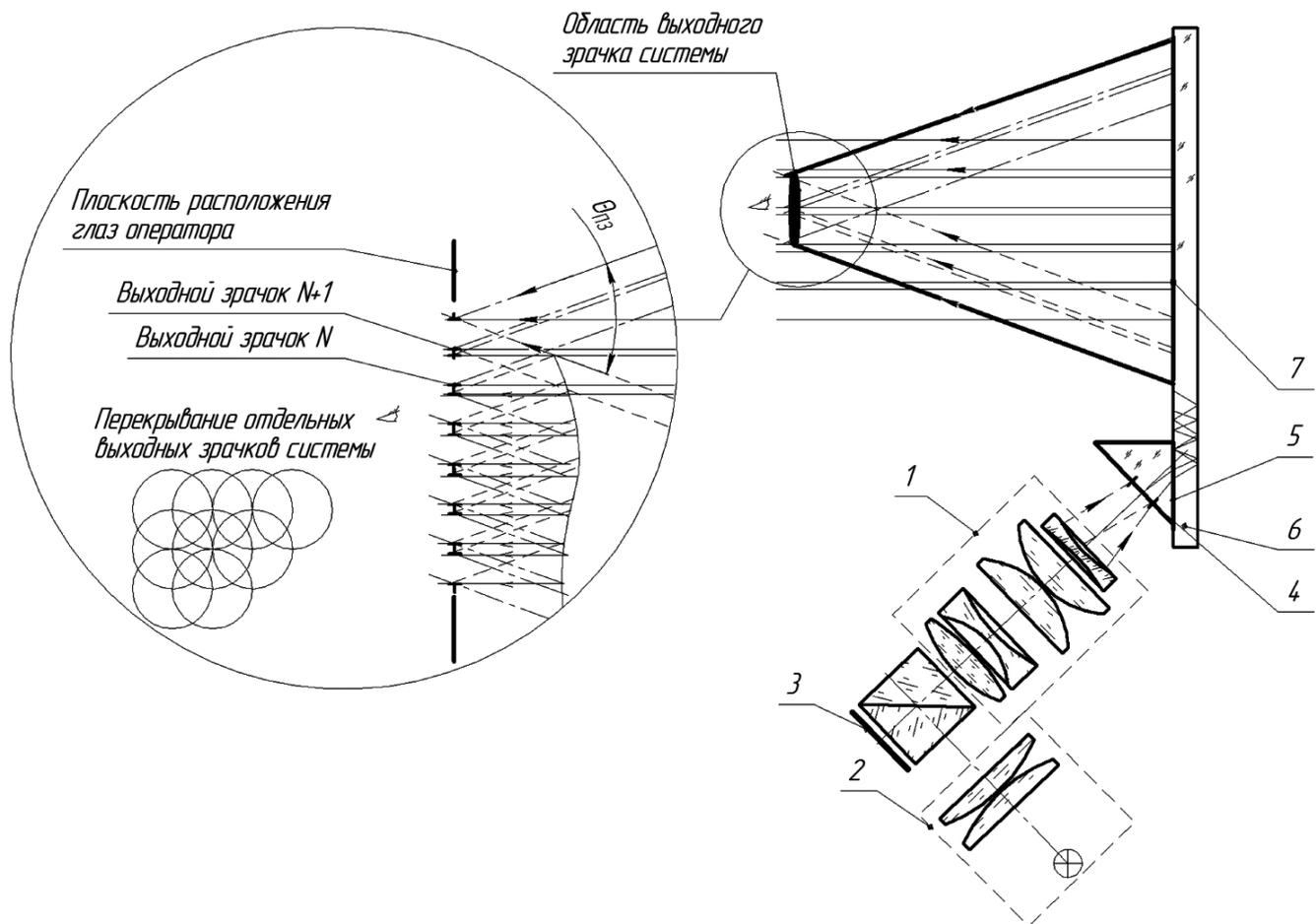


Рис. 1. Схема работы голографического индикатора: 1 – проекционная система с выходным зрачком 4; 2 – осветительный канал; 3 – отражающий FLCOS дисплей; 5 – призма; 6 – стеклянная пластинка; 7 – ДР для вывода излучения из пластинки

ми пластинами связана с возможностью существенно снизить их массогабаритные параметры по сравнению с традиционными способами реализации, что очень важно, так как допустимые нагрузки на голову и шею оператора строго регламентированы и серьезно ограничены. При этом открываются новые и существенно более широкие возможности для применения таких систем, например, в экипировке спортсменов экстремальных видов спорта и т. п. Также подобные системы можно будет использовать и в кинематографе: голографический индикатор позволит кинооператорам видеть как служебную информацию, так и фон за индикатором – при существенном уменьшении габаритов системы.

Работа голографических индикаторов в естественных климатических условиях обуславливает необходимость подбора специального фоточувствительного материала для получения ГОЭ и его защиты, либо получения ГОЭ непосредственно в стекле. Вместе с тем, при разработке подобных систем на данный момент остро стоит проблема повышения дифракционной эффективности ГОЭ, так как желательно использовать менее мощные и, соответственно, менее габаритные системы подсвета источника формирования изображения, вплоть до возможности перехода на сверхяркие OLED-дисплеи.

### Принцип работы голографического индикатора

Долгое время основным элементом при построении малогабаритных систем индикации и отображения информации были голографические зеркала, но в последнее время они начали уступать позиции световодным пластинам с ГОЭ, на основе которых уже создан ряд устройств, обладающих улучшенными массогабаритными параметрами. Наиболее подходящей реализацией голограммного оптического элемента для систем отображения информации на дисплеях и индикаторах является традиционная дифракционная решётка (ДР) [2, 3], так как голограммные оптические элементы, выполненные по принципу линз Френеля и т. п. и обладающие оптической силой, вносят существенные аберрации и искажают передаваемое посредством системы изображение.

При такой реализации голографический индикатор представляет собой стеклянную пластину [2–5], в которой излучение может распространяться под действием полного внутреннего отражения (ПВО) с нанесёнными на поверхность голограммными оптическими элементами, представляющими собой дифракционные решётки для вывода излучения из пластинки, как показано на рис. 1, реализуя таким образом принцип «перекры-

тия» выходных зрачков. При этом зона выходного зрачка будет состоять из большого числа перекрывающихся выходных зрачков проекционной системы, переносимых голографическим индикатором в плоскость расположения глаз оператора (рис. 1). В результате небольших размеров, выходной зрачок проекционной системы «растягивается» с помощью голографического индикатора до зоны необходимых размеров за счёт многократных перекрытий отдельных зрачков в зоне расположения глаз оператора.

Основное требование к дифракционным решёткам можно сформулировать следующим образом – ДР не должны вносить искажений в ход лучей в пластине и на выходе из неё, а просто перенаправлять лучи, подчиняясь определённому закону, одинаковому для всех направлений хода лучей, т.е. должны обеспечивать эквивалентность вышедшего излучения вошедшему, а также обеспечивать получение равномерного по всему полю и в пределах области выходного зрачка изображения. Помимо переменной дифракционной эффективности в данных решётках должна отсутствовать селективность в пределах конуса углов, формируемого проекционной системой. Этим требованиям отвечают рельефно-фазовые дифракционные решётки, т.к. угловая селективность у них мала.

Перейдём к расчёту основных параметров голографического индикатора. Период дифракционной решётки, предназначенной для вывода излучения из пластинки, определяется из формулы:

$$d_{\text{период}} = \frac{\lambda}{n_{\text{ст}} \cdot \sin \alpha + n_1 \cdot \sin \theta} \quad (1)$$

где  $n_{\text{ст}}$  – показатель преломления стекла;  $n_1=1$  – показатель преломления воздуха;  $\theta$  – угол дифракции на решётке;  $\alpha$  – угол распространения излучения в пластинке;  $\lambda$  – длина волны.

Для компенсации неравномерной освещённости по полю индикатора дифракционная эффективность решёток должна быть переменной. Дифракционная эффективность каждой отдельной зоны ДР, из которой выводится излучение по мере распространения в пластине, определяется по формуле:

$$\eta_i = \frac{\eta_1}{1 - (i-1) \cdot \eta_1} \quad (2)$$

После проведённых расчётов были определены следующие параметры голографического индикатора:

- световод из стекла ТФ4 толщиной 2,5 мм;
- диаметр выходного зрачка оптической системы 9 мм;
- выводящая дифракционная решётка с пилообразным профилем, период решётки 0,42 мкм [1,2], материал фоторезист Shipley S1813.

Разработанный голографический индикатор имеет следующие характеристики:

- поле зрения  $\pm 150^\circ$ ;
- максимальная дифракционная эффективность – 27%;
- коэффициент пропускания – 0,7;
- плоскость расположения глаз оператора находится на расстоянии 100 мм от плоскости световода, размер области перекрывающихся зрачков – 120x80 мм<sup>2</sup>;
- разрешение выводимого изображения – 20 лин/мм.

### Недостатки ГИ с выводящими ДР, выполненными на фоторезисте

Существенным недостатком таких рельефно-фазовых элементов является их невысокая дифракционная эффективность, а также то, что получаются они в слое фоточувствительного материала, который поглощает до 30% проходящего излучения и не всегда обладает удовлетворительными эксплуатационными характеристиками. Таким образом, следующим шагом нашей работы стало получение дифракционных решёток для голографического индикатора с пропусканием не менее 90–95%, причём с максимально возможной дифракционной эффективностью.

При использовании вместо фоторезиста бихромированной желатины (БХЖ) в качестве фоточувствительного материала [4] для получения дифракционных решёток возможно достижение пропускания 90% и более – при той же дифракционной эффективности, что и на фоторезисте. Однако БХЖ очень чувствительна к внешней среде: изменение температуры приводит к изменению толщины слоя БХЖ в соответствии с его коэффициентом термического расширения. Ещё более критичным фактором для работы голографического индикатора является влажность. Слой БХЖ гигроскопичен, и обусловленное этим набухание слоя при повышенной влажности приведёт как к рассмотренному выше изменению его толщины, так и к необратимым изменениям структуры слоя, поэтому защита слоя БХЖ с полученной в нём структурой является обязательной. При этом БХЖ обладает высокой угловой селективностью и, соответственно, не может обеспечить необходимый диапазон углов поля при высокой дифракционной эффективности решёток.

Вообще эксплуатационные свойства фоточувствительных материалов невысоки: требуется защита поверхностного микрорельефа от механических воздействий, от грязи и пыли; большинство фотоматериалов гигроскопичны и впитывают влагу, что приводит к кардинальным изменениям их параметров, а фотоматериалы, содержащие серебро, имеют остаточную чувствительность к УФ-излучению, что при эксплуатации приводит к их постепенному потемнению. В связи с этим возникает проблема создания таких фазовых структур, у которых поверхностный микрорельеф был бы выполнен непосредственно в стекле – материале, обладающем высокой оптической прозрачностью, химической стойкостью и достаточно высокой твёрдостью.

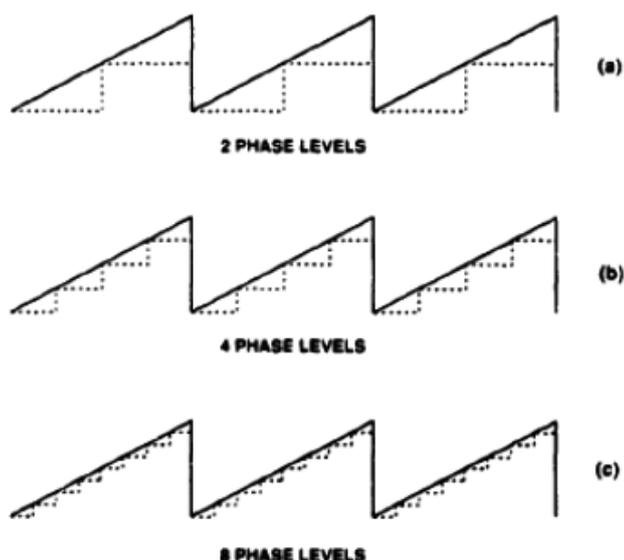


Рис. 2. Пилообразный профиль дифракционной решётки с 2-, 4- и 8-уровневой дискретизацией

Наилучшие результаты для создания микрорельефа ГОЭ на основе подложек из оптического стекла могут быть получены с помощью ионно-плазменной обработки, в частности, методом плазмохимического травления (ПХТ). При этом хромовая маска для процесса ПХТ может быть получена с помощью электронно-лучевой литографии [6]. При проявлении фоторезист удаляется с экспонированных участков, образуя маску для хрома, который затем травится до стекла и становится маской при плазмохимическом травлении стекла. Необходимая глубина травления достигается подбором режимов и времени процесса.

У перенесённой таким образом дифракционной решётки на стекло дифракционная эффективность снижалась до 8–10%. Яркость информации, выводимой с помощью голографического индикатора, падала в 3 раза.

### Голографический индикатор с многоуровневыми дифракционными решётками

Для повышения дифракционной эффективности было решено использовать многоуровневые дифракционные решётки. Суть многоуровневых решёток заключается в разбиении непрерывного рельефа на ступенчатый бинарный рельеф. Чем больше количество ступеней (уровней), тем лучше аппроксимация непрерывного рельефа (рис. 2). Согласно [7], достаточно всего 4 уровня дискретизации поверхностного микрорельефа, чтобы повысить дифракционную эффективность вдвое по сравнению с использованием бинарных структур. Таким образом, в качестве ГОЭ для индикатора знаково-символьной информации будут использованы дифракционные решётки, которые для решения задач работы в различных климатических условиях будут выполнены на стекле, а повышенная дифракционная эффективность будет достигаться за счёт получения нескольких уровней квантования пилообразного поверхностного микрорельефа решётки.

Используя волновую теорию дифракции [8], была рассчитана теоретическая дифракционная эффективность для решёток с периодом 0,42 мкм, глубиной 0,2 мкм и длиной волны оптического излучения 532 нм с разбиением на 2–16 уровней. Уже для 4-уровневой структуры теоретическая дифракционная эффективность составит 82%, для 16-уровневой – 99%.

Для отработки данной технологии и получения практических результатов были получены тестовые образцы ДР с помощью электронного микроскопа Zeiss EVO MA 10 с литографической приставкой Raith (рис. 3). При этом использовались пластинки с хромовым подслоем толщиной 60 нм, на которые методом центрифугирования был нанесён электронно-чувствительный резист ПММА толщиной 1 мкм. При



Рис. 3. Электронный микроскоп Zeiss EVO MA 10 с литографической приставкой Raith

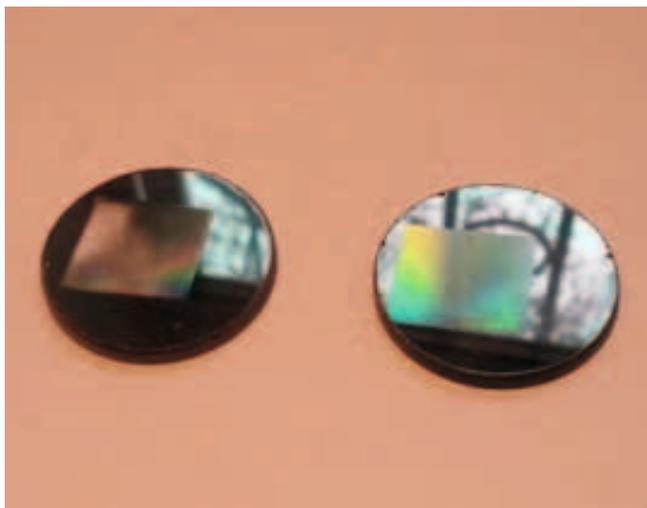


Рис. 4. Тестовые дифракционные решётки на стекле К8 (без травления хрома и с травлением до стекла), полученные с помощью электронно-лучевой литографии в качестве масок для плазмохимического травления

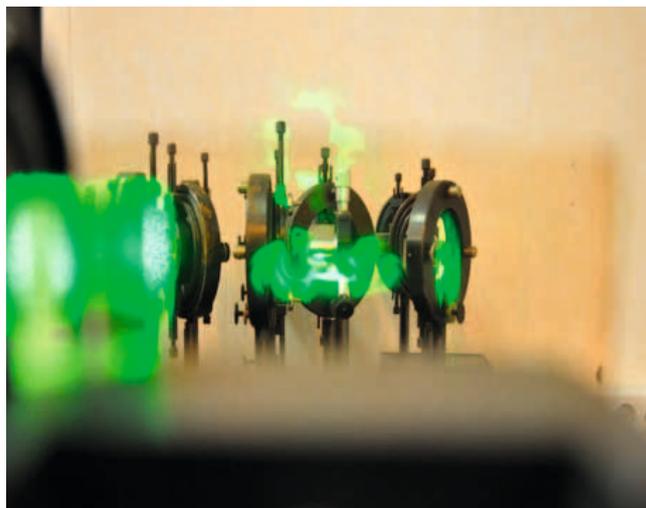


Рис. 5. Экспериментальный образец голографического индикатора знаково-символьной информации

проявлении резист удаляется с экспонированных участков, образуя маску для хрома, который травится в цериевой кислоте до стекла, а затем уже сам хром становится маской при плазмохимическом травлении стекла на установке «Caroline 15 PE». Глубина травления стекла составила  $\approx 200$  нм. В результате были получены тестовые четырёхуровневые решётки на стекле (рис. 4). Реальная дифракционная эффективность перенесённой решётки составила 38%. Очевидно, это связано с отклонениями рельефа от рассчитанного при травлении и погрешностью глубины травления.

### Заключение

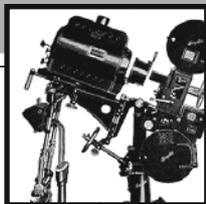
Рассмотрен голографический индикатор для отображения знаково-символьной информации на основе

световодной пластины с бинарными и четырёхуровневыми дифракционными решётками, которые были выполнены на стекле с целью обеспечения работы индикатора в естественных климатических условиях. При этом данные решётки обладают увеличенной дифракционной эффективностью (до 38%), а сам индикатор – высоким пропусканием и расширенным температурным диапазоном работы (рис. 5).

Разрешение выведенного изображения удовлетворяет требованиям человеческого глаза. Кроме того, удалось выровнять яркость изображения по всему полю. Однако при использовании немонахроматических источников (светодиодов) наблюдается появление нескольких, смещённых относительно друг друга, изображений разных цветов из-за хроматических аберраций. ■

### ЛИТЕРАТУРА

1. Eisen L. et al. Planar configuration for image projection, Applied optics, June 2006, Vol. 45, No. 17.
2. Eisen L. et al. Design and experiments of planar optical light guides for virtual image displays, Proceedings of SPIE, Vol. 5182.
3. Zhanjun Yan, Wenqiang Li. Virtual display design using waveguide hologram in conical mounting configuration / Optical engineering, September 2011, Vol. 50.
4. Alex Cameron. Optical Waveguide Technology & Its Application In Head Mounted Displays / Proc. of SPIE, vol. 8383, 2012.
5. Одиноков С.Б., Донченко С.С. Молодёжный научно-технический вестник МГТУ, май 2013, стр. 78–85.
6. Одиноков С.Б., Сагателян Г.Р., Соломашенко А.Б., Ковалев М.С., Гончаров А.С., Вереникина Н.М. Экспериментальные исследования процесса плазмохимического травления стекла при изготовлении дифракционных и голограммных оптических элементов / Наука и образование, №5, 2012.
7. Swanson G.J. The theory and design of Multi-level diffractive Optical Elements. Lincoln Laboratory, Massachusetts, 14.09.89
8. Кольер Р., Беркхарт К., Лиин Л. Оптическая голография. Перевод с англ. под ред. Островского Ю. И. – М.: Мир, 1973



# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ для обработки фильмовых материалов на полиэтилентерефталатной основе



Я.В. Кириллова, аспирант,  
К.Б. Греков, д.т.н., СПбГУКИТ

## Аннотация

*Исследована возможность применения полимерных покрытий на основе метакриловых и акриловых смол для обработки поверхности фильмовых материалов на полиэтилентерефталатной основе в целях улучшения их механических свойств.*

**Ключевые слова:** *фильмовые материалы, полиэтилентерефталат, полимерные покрытия, реставрация фильмовых материалов, улучшение механических свойств.*

THE POSSIBILITY OF USING POLIMERIC COATINGS APPLIED TO FILM MATERIALS ON POLYETHYLENE TEREPHTHALATE BASIS

*Ja. Kirillova, K. Grekov*

## Abstract

*The article describes the application of polymer coatings on the basis of methacrylic and acrylic resins for the treatment of films in order to improve their mechanical properties.*

**Keywords:** *film, polyethylene terephthalate, application of polymer coatings, restoration of film, improvement in the mechanical properties.*

## Введение

Архивы на киноплёнке насчитывают миллионы часов отснятых материалов, и большая их часть могла бы быть использована, если бы качество было удовлетворительным [1]. Известно, что в процессе эксплуатации фильмовые материалы подвергаются значительным тепловым и механическим воздействиям в кинокопировальной и кинопроекционной аппаратуре, а также температурно-влажностным – при их хранении и транспортировании. Фильмовые материалы при этом приобретают в основном два поверхностных дефекта: загрязнения и повреждения (царапины), что существенно снижает качество кинопоказа и мешает восприятию фильма зрителем, нарушает целостность поверхности, вызывает, в том числе, снижение прочностных свойств киноплёнки [2]. Загрязняющие частицы, представляющие собой пыль, оседающую под действием сил тяжести и притяжения электростатическим зарядом поверхности полимера, а также смазочных материалов, используемых в механизмах кинопроекторов и перемоточных устройств, проникают в глубину царапин и собираются в них. В связи с этим киноплёнка перед эксплуатацией или оцифровкой должна быть обработана специальным раствором, обеспечивающим удаление

загрязнений, защиту фильмового материала, а по возможности, и удаление царапин.

Реставрация фильмового материала включает в себя, главным образом, процессы реставрации фотослоя и (или) основы, которые проводятся преимущественно двумя основными методами. Первый метод реставрации повреждённого фотослоя основан на физико-химических процессах промывки и набухания в водных растворах моющих средств с последующим затягиванием царапин в процессе полировки фотослоя аппликаторными роликами, обтянутыми соответствующим материалом, и его сушки. Второй метод – реставрация нанесением полимерного покрытия, обладающего комплексом специфических свойств и обеспечивающих иммерсионный эффект.

Метод реставрации путём нанесения полимерного покрытия является одним из наиболее перспективных средств повышения технического ресурса фильмового материала. В качестве таких покрытий могут применяться:

- покрытия на основе amino-пропилтриэтоксисилана (АГМ 9),
- покрытия на основе привитого сополимера желатины с полиметилакрилатом,

- соли сополимера этилакрилата, метилметакрилата и акриловой кислоты,
- покрытия из смеси нитроцеллюлозы и синтетических смол,
- защитное казеиновое покрытие,
- покрытие «Фотогард» фирмы 3 M, США.

Большинство покрытий обладают теми или иными недостатками, что препятствует их широкому промышленному внедрению. Например, покрытие «Фотогард», несмотря на высокую реставрационную способность, достаточно сложное по составу, наносится на всю ширину плёнки, затем отверждается под действием УФ-излучения, что требует специального дорогостоящего оборудования. Покрытие на основе АГМ-9 приводит к ускорению выцветания красителей цветного изображения некоторых плёночных материалов, а температура сушки покрытия находится в пределах 38–42°C, что усложняет технологический процесс [2].

Со второй половины XX века в качестве основы носителя записи информации используются триацетатцеллюлоза (ТАЦ) и полиэтилентерефталат (ПЭТФ). ПЭТФ – кристаллический полимер. Степень кристалличности ~40%, температура плавления ~260°C, температура деструкции 285–320°C. Применимость эффективных способов переработки, нетоксичность, отсутствие примесей, прозрачность, химстойкость, свето-, тепло- и термостойкость обуславливают высокую потребительскую стоимость изделий из ПЭТФ. Не случайно во всём мире ТАЦ заменяют полиэтилентерефталатом, к тому же получаемым экологически сберегающим и экономически эффективным методом экструзии расплава полимера.

Следует отметить, что плёночные материалы на ПЭТФ основе, в отличие от ТАЦ основы, не растворяются в обычных органических растворителях, вследствие малой растворимости и плохой смачиваемости, что обусловлено гибкоцепной кристаллической природой полиэтилентерефталата и необходимостью в плоскостной ориентации. Всё это требует новых специальных подходов в реставрации плёночных материалов на ПЭТФ основе. Одним из таких подходов является нанесение полимерного покрытия с последующим получением на повреждённой плёнке слоя толщиной 2–3 мкм, делающим повреждение оптически невидимыми на экране [2].

Целью данной работы является исследование возможности использования различных полимерных покрытий, позволяющих, с одной стороны, обеспечить иммерсионный эффект, а с другой – обладать требуемыми механическими характеристиками и обеспечить сохранность ПЭТФ основы плёночного материала.

### Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовались плёночные материалы на полиэтилентерефталатной основе. Реставрация таких материалов путём «залечивания» поверхностных дефектов, возникших в результате механических повреждений основы, является началь-

ным этапом комплексного исследования по реставрации плёночных материалов в целом.

Для нанесения покрытий были выбраны плёночный материал из полиэтилентерефталата, контратип, изготовленный на плёнке KODAK VISION Color Intermediate Film 2242, и фильмокопия на плёнке Fujifilm F-CP 3519 Fujicolor positive Film 3519.

В качестве материалов для получения покрытий, на основании результатов ранее проведённых исследований [4, 6], были отобраны:

- смола акриловая Degalan LP 65/12,
- смола акриловая Eterac 7119 X-50,
- водная дисперсия акрилатного сополимера Finndisp A 2002.

В патентах Eastman Kodak Company было предложено использование полиакриловых и полиметакриловых солей в качестве компонентов для изготовления подслоя и других вспомогательных слоёв различных светочувствительных материалов [7]. Нами было впервые предложено использование акриловых смол для реставрации ПЭТФ основы плёночного материала.

Выбранные полимерные покрытия на начальном этапе исследования должны обладать, по крайней мере, тремя основными свойствами: коэффициентом преломления, близким к коэффициенту преломления плёнки; высокой прочностью адгезии к фотослою (или основе), исключая рассеяние света на границе между ними; нанесением раствора, обеспечивающего быстрое проникновение его в глубину повреждений (царапин).

Нанесение полимерного покрытия осуществлялось вручную. Для определения механических показателей применялись следующие приборы:

- для определения толщины плёнки ( $h$ , мкм) использовался полуавтоматический микрометр;
- определение предела прочности ( $\sigma_p$ , Н/мм<sup>2</sup>) и относительного удлинения плёнки при разрыве ( $l$ , мм) проводилось на разрывной машине;
- определение адгезии проводилось на электронном приборе для измерения сцепления KN-10;
- определение оптической плотности – на денситометре ДО-1Н за синим фильтром;
- изучение поверхности киноплёнки – на цифровом USB микроскопе U500X.

### Результаты и их обсуждение

После проведения испытаний полимерных покрытий на органолептические свойства, были выбраны оптимальные соотношения концентраций акриловых смол Degalan и Eterac, обеспечившие прозрачные полимерные покрытия, показавшие хорошие результаты при испытании плёнки на изгиб. Покрытия же на основе дисперсии Finndisp не прошли испытания и из дальнейшего исследования были исключены [4].

С целью определения механических свойств и выявления наиболее перспективных составов композиций полимерных покрытий на основе Degalan LP 65/12 и Eterac

Табл. 1. Результаты испытаний механических свойств полимерных покрытий

Образец, №	$h_{ср.}$ мкм	$\Delta h$ , мкм	L, мм	$l_{ср.}$ , мм	$P_p$ , Н	$\sigma_p$ , Н/ мм <sup>2</sup>	$\sigma_p$ ср. Н/мм <sup>2</sup>
I. Без покрытия	1	26,17	0,25	7,00	6,60	4,70	11,97
	2	25,83	0,25	6,00		4,20	10,84
	3	25,50	0,50	8,00		4,30	11,24
	4	26,17	0,25	6,00		4,20	10,70
	5	26,33	0,25	6,00		4,10	10,38
	6	26,33	0,75	5,00		3,90	9,87
	7	25,50	0,50	7,00		4,80	12,55
	8	26,00	0,50	6,00		4,30	11,03
	9	26,50	0,50	8,00		4,90	12,33
	10	25,67	0,50	7,00		4,40	11,43
II. Degalan 5%, 7%, 10%	1	29,17	0,25	13,00	14,56	4,50	10,29
	2	29,00	1,00	12,00		4,50	10,34
	3	28,00	1,00	16,00		5,20	12,38
	4	29,17	0,75	15,00		5,20	11,89
	5	29,67	0,75	13,00		4,60	10,34
	6	28,83	0,25	16,00		4,50	10,40
	7	28,83	0,75	17,00		5,20	12,02
	9	29,50	0,50	14,00		4,60	10,40
	10	28,67	0,75	15,00		4,30	10,00
	III. Eterac 5%, 7%, 10%	1	29,17	1,00		15,00	15,56
2		29,33	0,75	13,00	5,50	12,50	
4		28,83	0,25	14,00	5,90	13,64	
5		28,17	1,00	17,00	5,30	12,54	
6		30,00	0,50	16,00	5,20	11,56	
7		29,33	0,50	14,00	4,90	11,14	
8		27,83	0,25	18,00	5,20	12,46	
9		29,83	0,25	17,00	5,40	12,07	
10		28,33	0,50	16,00	5,30	12,47	

7119 X-50 были проведены испытания семидесяти образцов плёночного материала на полиэтилентерефталатной основе длиной 140 мм, шириной 15 мм, с различной концентрацией акриловых смол (5%, 7%, 10%). Полученные результаты приведены в таблице 1, где  $P_p$  – нагрузка, при которой образец разрушился (Н),  $\sigma_p$  – предел прочности (Н/мм<sup>2</sup>).

По результатам эксперимента полимерное покрытие на основе Eterac 7119 X-50 10% показало высокие значения по пределу прочности и относительному удлинению плёнки при разрыве, а полимерное покрытие на основе Degalan LP 65/12 10% показало хорошее значение по относительному удлинению плёнки при разрыве, но более низкое значение по пределу прочности [6].

Определение адгезии проводилось по трём испытаниям на полиэтилентерефталатной плёнке на металлической подложке. Полимерное покрытие на основе Eterac 7119 X-50 10% показало более высокие значения адгезии (18 кг\*с/см<sup>2</sup>), чем на Degalan LP 65/12 (13 кг\*с/см<sup>2</sup>). Зна-

чения оптических плотностей полиэтилентерефталатной плёнки с нанесёнными полимерными покрытиями не отличались от значений плотностей плёнки без покрытия.

## Заключение

По результатам исследования были сделаны следующие выводы:

1. Впервые предложено использование акриловых смол Degalan LP 65/12 и Eterac 7119 X-50 для реставрации ПЭТФ основы фильмового материала. С помощью этих смол можно получать полимерные покрытия, которые наносятся на фильмовый материал без помощи сложных многостадийных технологических подходов и при комнатной температуре.

2. Предлагаемые покрытия можно наносить только на повреждённые участки (поверхностные повреждения) киноплёнки, добиваясь при этом хорошего реставрационного эффекта.

3. Нанесение полимерного покрытия на основе Eterac 7119 X-50 на фильмовый материал несколько увеличивает предел прочности плёнки и существенно (в 2,2 раза) – относительное удлинение при разрыве по сравнению с образцами без покрытия. По адгезионным характеристикам покрытие на основе Eterac 7119 X-50 на 5 кг\*с/см<sup>2</sup> выше, чем покрытие на основе Degalan LP 65/12.

4. Полимерные композиции на основе смолы акриловой Degalan LP 65/12 в 10% от общего состава композиции и Eterac 7119 X-50 в 10% от общего состава композиции можно рекомендовать для дальнейшего исследования их применения в реставрационных процессах фильмовых материалов. ■

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ричард Лилли. Уменьшение затрат на реставрацию архивных киноплёнок [Электронный ресурс] URL: <http://red-master.ru/text/kino-arh-hran.shtml>.
2. Бурдыгина Г.И. Фильмокопии. Свойства. Профилактика. Реставрация. Хранение. – М, Искусство, 1991. – 206 с.
3. Сакварелидзе М.А., Левачев С.М. Антифрикционные покрытия фильмовых материалов на основе полистирольных микросфер. // МТК – 2007. – № 3. – С. 6–9.
4. Бондаренко Я.В. Повышение механических свойств полиэтилентерефталатной плёнки. // Естественные и математические науки в современном мире. Сборник статей по материалам XI Международной научно-практической конференции. Новосибирск: СибАК, 2013. – 224 с.
5. Мнацаканов С.С., Варламов А.В. Плёнкообразующие полимеры для носителей записи информации. Учебное пособие, СПбГУКИТ, 2007. – 78 с.
6. Бондаренко Я.В. Исследование полимерных покрытий для реставрации ПЭТ основы. // Теория и практика современной науки, материалы IX Международной научно-практической конференции. Москва: Спецкнига, 2013. – 68–70 с.
7. Патент США № 5447832 А, опубл. 05.09.1995.



# АЛГОРИТМ ПОДБОРА ПАРАМЕТРОВ СТЕРЕОКИНОСЪЁМКИ вне зависимости от методов регистрации стереопары



А.С. Мелкумов,  
ОАО «НИКФИ»

## Аннотация

*В кинотеатральной сети существует большой разброс размеров экранов – от 3 до 30 метров. Как правильно рассчитать параметры стереосъёмки, чтобы стереофильм одинаково комфортно смотрелся в цифровых стереокинотеатрах (digital 3D cinema) и в формате Гигантского Экрана (Giant Screen), дома на экранах телевизоров (3D TV) и на дисплеях мобильных телефонов?*

*Предлагается алгоритм подбора параметров стереосъёмки, независимо от её методов и вида киносъёмочной аппаратуры, когда абсолютные величины замещены на относительные или среднестатистические. Данная методика применялась при стереосъёмке живой природы и кукольной анимации (3D shooting of the life nature and stop-motion animation). Фильмы, снятые по данной методике, комфортно воспринимаются как в 3D TV, так и на Гигантском экране.*

■ Одной из основных задач при стереосъёмке живой природы (3D shooting live nature) или записи стереопары трёхмерного объекта, созданного в компьютерной графике (3D CG image), является правильный подбор параметров записи стереопарного изображения, при которых зри-

THE ALGORITHM SELECTION PARAMETERS FOR 3D SHOOTING REGARDLESS THE STEREOPAIR REGISTRATION METHODS

A. Melkumov

## Abstract

*How to solve the problem practically, when presently we have a big diapason of screen sizes from 3 to 30 m in different cinemas? How to calculate the 3D shooting parameters in order to give the film an opportunity to be equally well seen in digital 3D cinemas as well as in format of Giant Screen, both at home on television screens and on displays of mobile phones?*

*If one operates by the value of admittedly close distance of observation of 3D movies according to the width of screen, it is possible to change the absolute value of parallax infinity on the screen (65 mm) to the value percentagewise relative to the screen width. There is a universal methodology of calculation of 3D shooting parameters regardless its method and a kind of equipment. The given methodology was implemented during the 3D shooting of the life nature and stop-motion animation. The films shot according to this methodology are comfortably perceived both in 3D TV and in the Giant screen.*

тель будет иметь комфортное бинокулярное наблюдение путём раздельного (гаплоскопического) предъявления ему двух плоских изображений левого и правого ракурса. Данное условие является важным фактором неутомительного длительного восприятия стереофильмов.

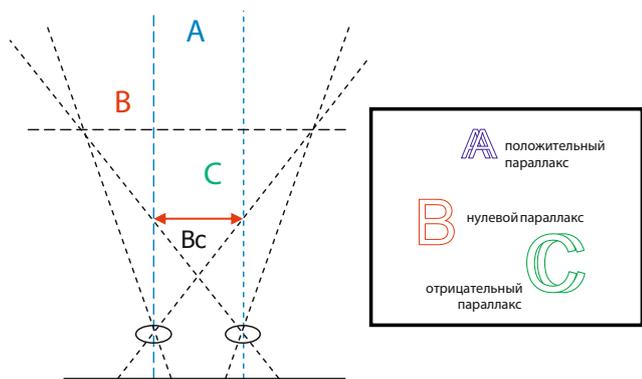


Рис. 1. Горизонтальный параллакс

Разработанная А.Г. Болтянским теория расчёта параметров стереокино и фотосъёмки для проекции на большой экран, перенесённая из плёночных технологий в цифровую, на практике показала свою универсальность вне зависимости от методов съёмки и применяемого съёмочного оборудования.

В статье приводится алгоритм подбора параметров стереосъёмки на основе теории Болтянского А.Г. и знаний, полученных эмпирическим путём в течение тридцатилетней практики.

### Методология расчёта параметров стереосъёмки

Как и в обычном кинематографе, в классическом (двухракурсном) стереокино, зрителю предъявляются двумерные (плоские) фотографические изображения, но только отдельно для левого и правого глаза, снятые соответственно с левого и правого ракурсов. При сложении на экране изображений левого и правого ракурсов, их различие, называемое диспаратностью, визуализируется в виде горизонтального смещения одноимённых (сопряжённых) точек объекта, называемое горизонтальным параллаксом (рис. 1). При раздельном наблюдении такого изображения у зрителя возникает ощущение пространственного восприятия, которое называется сте-

реописом. Горизонтальные параллаксы управляют конвергенцией (сходимостью) зрительных осей и могут иметь положительный или отрицательный знак величины. Если точка правого изображения объекта находится правее сопряжённой точки левого изображения, то параллакс имеет положительную величину. В этом случае точка конвергенции зрительных осей расположена за плоскостью экрана. В случае, когда точка правого изображения находится левее сопряжённой точки левого изображения, величина параллакса имеет отрицательное значение. В результате пересечения зрительных осей точка конвергенции будет расположена в предэкранном (зальном) пространстве (рис. 2).

При наблюдении проекционных стереопарных изображений мы имеем ряд ограничений в диапазоне величин горизонтальных параллаксов.

Ограничение первое: параллакс максимально удалённой точки пространственной композиции должен быть не более величины базиса зрения:  $V_{дл} \leq V_{зр}$ .

Как и в реальной жизни, бинокулярное наблюдение на экране изображения объектов бесконечности должно происходить на параллельных осях (нулевой угол конвергенции). Это возможно при условии, если величина горизонтального положительного параллакса точки бесконечности будет равна базису зрения зрителя. Величина параллакса точки бесконечности в пространственной композиции называется параллаксом бесконечности на экране ( $P_{\infty экр}$ ). Отклонение от этой величины в сторону увеличения станет причиной дивергенции зрительных осей, вызывающей дискомфорт при длительном просмотре стереоскопического изображения (рис 3).

Ограничение второе: при расположении переднего и дальнего объектов на одной оси наблюдения параллакс близлежащего объекта должен быть не более величины базиса зрения со знаком минус:  $V_{бли} \leq (-V_{зр})$ .

Если в реальной жизни точка аккомодации (фокусирования) на объект величина переменная и практически всегда совпадает с точкой конвергирования зрительных

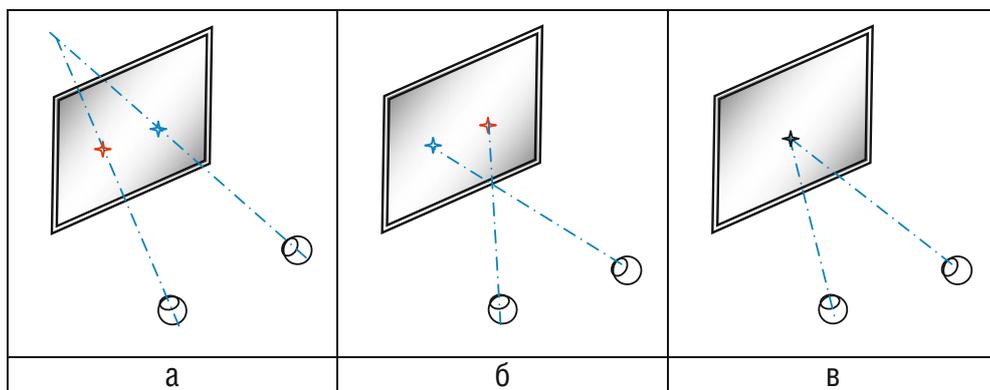


Рис. 2. Точка конвергенции: за экраном (а); перед экраном (б); на экране (в)

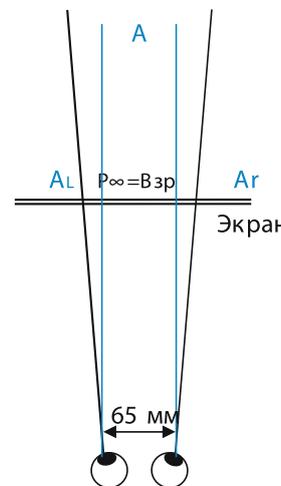


Рис. 3. Дивергенция зрительных осей

осей на этот объект, то при наблюдении стереопарного изображения положение точки аккомодации фиксированное и находится в плоскости экрана, а точка конвергирования зрительных осей может находиться перед или за экраном, и в результате возникает разрыв между точками аккомодации и конвергенции.

Теоретически это выглядит приговором стереоскопическому методу демонстрирования фильмов. Но глаз имеет некий резерв глубины, что в фотографической и кинематографической практике называется глубиной резко изображаемого пространства. Поэтому при наблюдении изображения зоной аккомодации является не плоскость экрана, на которую фокусируется хрусталик глаза, а пространственная область, в пределах которой может происходить допустимый разрыв между аккомодацией и конвергированием зрительных осей. Эмпирическим путём было определено, что соблюдение условия второго ограничения (параллакс близлежащей точки должен быть не более параллакса бесконечности с обратным знаком) позволяет зрителю конвергировать зрительные оси в пределах глубины резкости хрусталика глаза.

Ограничение третье: *переднеплановый объект, обрезаемый границами кадра, должен иметь нулевой параллакс.*

При бинокулярном восприятии границы изображения формализуются в окно, через которое зритель наблюдает пространственную композицию. Если объект обрезается границами кадра, но его изображение имеет параллакс в отрицательных величинах, он психологически не может восприниматься зрителем в предэкранном пространстве. В результате эффекта отжимающего действия границ экрана, вся пространственная композиция в восприятии зрителя «переместится» вглубь за экран так, чтобы переднеплановый объект занял положение в плоскости окна (экрана). Длительное несовпадение психологического восприятия положения переднепланового объекта с его параллаксным параметром является причиной дискомфорта.

Вышеописанные ограничения позволяют обозначить допустимый диапазон параллаксов при длительном наблюдении стереофильма:  $D = (+B_{зр}) + (-B_{зр})$ .

Если принять во внимание, что величина горизонтального параллакса определяется пространственным положением объекта относительно стереокамеры, то через диапазон параллаксов можно объяснить, как формируется глубина комфортно наблюдаемого пространства на съёмочной площадке. Обратно, эту глубину можно

описать, как мы описываем глубину резко изображаемого пространства. Подобно гиперфокальному расстоянию, при каждой комбинации величины базиса съёмки и фокусного расстояния объектива (независимо от величины диафрагмы) существует расчётная дистанция, которая называется основной дистанцией рампы. Если сконвергировать объективы на эту дистанцию, то мы получим глубину, в пределах которой объекты, расположенные от половины данной дистанции до бесконечности, будут воспроизведены в допустимом диапазоне величин горизонтальных параллаксов, при котором разрыв между аккомодацией и конвергенцией не будет вызывать дискомфорта у зрителей.

Особенностью глубины комфортно воспроизводимого пространства, в отличие от глубины резкости, является разделение её на предэкранную и заэкранную зоны, которые необходимо учитывать при композиционном построении кадра. Вырезанная в пространственной композиции плоскость, проходящая через дистанцию рампы перпендикулярно оптической оси камеры, называется рампой и обозначается как плоскость нулевых параллаксов, так как объекты, расположенные на этой дистанции, будут иметь нулевой параллакс (рис. 4).

Таким образом, изображение стереопары, записанное с правильно подобранными параметрами, такими как фокусное расстояние ( $F$ ), базис съёмки ( $B_c$ ) и дистанция рампы ( $L_{рампы}$ ), должно соответствовать следующим условиям:

- близлежащий объект пространственной композиции, обрезаемой границами кадра, должен располагаться на основной дистанции рампы и иметь нулевой параллакс;
- величина параллакса точки, удалённой в бесконечности, должна быть не более величины базиса зрения;
- величина параллакса максимально близкой точки, воспринимаемой зрителем в предэкранном пространстве в статичной пространственной композиции, должна быть не более отрицательной величины базиса зрения (фото 1).



Фото. 1. Стереозображение, записанное с правильно подобранными параметрами

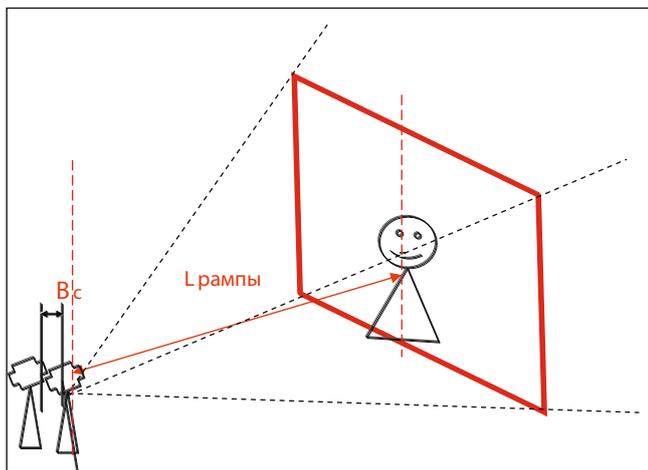


Рис. 4. Рампа

Перечисленные выше параметры стереосъёмки взаимосвязаны формулой:

$$F \cdot B_c = L_{\text{рампы}} \cdot P_{\infty \text{экр}} / K_{\text{пр}} \quad (1)$$

где  $L_{\text{рампы}}$  – основная дистанция ramпы,  $P_{\infty \text{экр}}$  – параллакс бесконечности на экране, равный базису зрения зрителя,  $K_{\text{пр}}$  – коэффициент проекции.

### Алгоритм усреднения параметров, сопутствующих стереосъёмке

Ввиду большого разброса значений в формуле таких величин, как параллакс бесконечности и коэффициент проекции, выполнение каждого из вышеперечисленных условий в математически строгих границах означало бы требование вести съёмку с индивидуальными параметрами для каждого зрителя и для каждого экрана. В практической стереокинематографии мы прибегаем к алгоритму усреднения математических величин, и отправной точкой является определение усреднённого значения базиса зрения зрителя. При разбросе величин базиса зрения у зрителей от 52 до 72 мм, в расчётах параметров стереосъёмки и стереопроекции берётся его среднее значение, равное 65 мм. Исходя из этого, величина параллакса на экране максимально удалённой точки (параллакс бесконечности)  $P_{\infty \text{экр}}$  должна быть не более 65 мм. При этом условии среднестатистический зритель будет наблюдать точку бесконечности на параллельных осях.

Из-за разброса величин ширины экрана  $S_{\text{экр}}$  от нескольких сантиметров до несколько десятков метров при постоянном значении ширины изображения на сенсоре камеры –  $S_s$ , коэффициент проекции, равный:

$$K_{\text{пр}} = S_{\text{экр}} / S_s \quad (2),$$

будет всегда величиной переменной.

Эмпирически было определено, что, учитывая физиологические ресурсы зрительного аппарата, дивергенция зрительных осей до 70' может быть приравнена к условиям наблюдения на параллельных осях при

нахождении зрителя от экрана на дистанции не менее двух высот изображения. При наблюдении стереоизображения с соотношением сторон 16:9 (1,77), максимально удалённая точка в бесконечности может комфортно наблюдаться на экране с горизонтальным параллаксом до 1% ширины изображения. Максимальная величина параллакса близлежащего объекта пространственной композиции так же может быть допустимой до 1% ширины экрана, но со знаком минус. Получается, что при проекции на экран шириной 6,5 м параллакс бесконечности, взятый из расчёта 1% ширины экрана, будет наблюдаться с величиной, равной усреднённой базису зрения в 65 мм. Подобно выбору среднестатистического базиса зрения, экран размером 6,5 метров может играть роль среднестатистического экрана при критическом анализе отснятого изображения при комфортном восприятии.

*Замещение абсолютных значений крайних величин параллаксов на относительные величины в процентном исчислении позволяет контролировать диапазон параллаксов стереоизображения по мониторам любых размеров, не прибегая к контрольному среднестатистическому экрану.*

В формуле (1) соотношение значений коэффициента проекции и базиса зрения можно заменить одним значением  $P_{\infty \text{пл}}$  – параллакс бесконечности на носителе изображения (матрицы или плёнки):

$$P_{\infty \text{пл}} = P_{\infty \text{экр}} / K_{\text{пр}} \quad (3)$$

Так как коэффициент проекции есть соотношение между шириной экрана и шириной кадра на носителе изображения (2), а параллакс бесконечности на экране принимается как 1% от ширины экрана, то  $P_{\infty \text{пл}}$  так же составит 1% от ширины изображения матрицы и станет константой при определении параметров съёмки на протяжении производства всего фильма конкретной стереокамерой.

Таким образом, формула (1) поменялась на формулу с двумя переменными и одной константой:

$$F \cdot B_c = L_{\text{рампы}} \cdot P_{\infty \text{пл}} \quad (4)$$

$$L_{\text{рампы}} = \frac{B_c \cdot F}{P_{\infty \text{пл}}} \quad (5)$$

Как видим, подбор параметров стереосъёмки свёлся к подбору трёх величин – фокусного расстояния объектива, базиса съёмки и дистанции ramпы.

### Влияние параметров съёмки на пространственность композиции кадра

Масштаб изображения объекта в кадре, степень его крупности на экране продиктованы содержательностью кадра, его местом в монтажной фразе снимаемой сцены. Величина фокусного расстояния объектива сопряжена с его углом зрения. В отличие от традиционного кинематографа, в стереокино выбор оптики по фокусному рас-

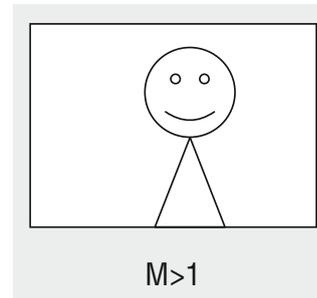
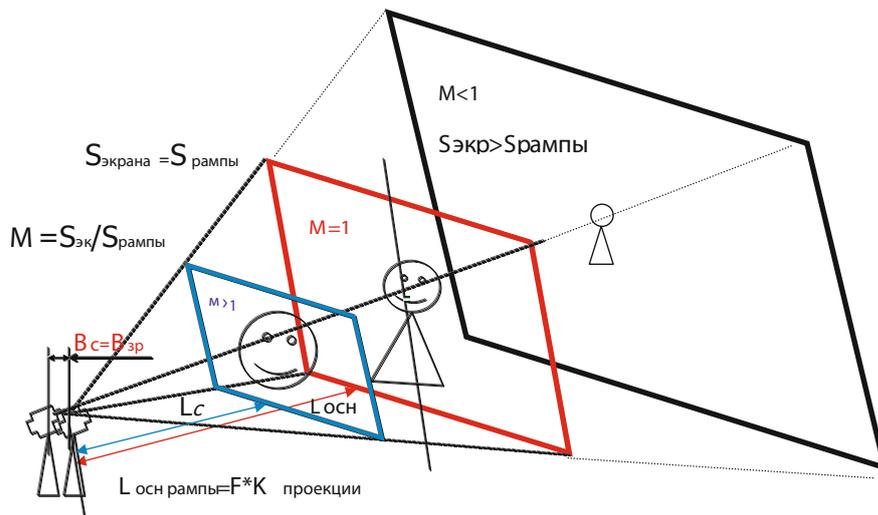


Рис. 6. Реальный масштаб изображения объекта

стоянию продиктован не столько крупностью плана (чем общее план, тем шире угол зрения оптики, и наоборот, чем крупнее план, тем уже угол зрения), сколько необходимостью иметь ту или иную пространственную выраженность кадра.

Подобно тому, как цветное изображение характеризуется цветовой насыщенностью, стереоскопическое изображение оценивается **перспективной характеристикой передачи пространства** через коэффициент передачи глубины  $\theta$ , который описывает степень стереоскопической выраженности трёхмерного изображения. Величина  $\theta$  зависит от соотношения положения зрителя относительно расстояния до экрана ( $L_{зр}$ ) и дистанции рампы ( $L_c$ ).

$$\theta = \frac{L_{зр}}{L_c} \quad (6)$$

Один и тот же масштаб изображения объекта ( $M$ ) мы можем получить при различном фокусном расстоянии, меняя дистанцию съёмки до объекта  $L_c$ . В различных случаях мы будем иметь разную глубину, которая будет характеризоваться определённой степенью сжатия ( $L_{зр} < L_c$ ) или растяжения ( $L_{зр} > L_c$ ). Поэтому к подбору фокусного расстояния объектива следует относиться с учётом его влияния на пространственную передачу объекта. *Чем ближе мы находимся к объекту съёмки, тем выше стереоскопическая выраженность данного объекта.*

Важным этапом, одновременно с выбором оптики по необходимому углу зрения, является определение съёмочного базиса, с каким следует вести стереосъёмку.

Съёмка людей со съёмочным базисом, равным базису зрения, возможна только в случае, когда изображение на экране будет не больше реального масштаба снимаемого объекта ( $M \leq 1$ ), находящегося в плоскости рампы. Масштаб объекта при стереопроекции может быть реальным только в одном случае: когда ширина рампы на съёмочной площадке равна ширине экрана, на котором будет воспроизводиться отснятое изображение.

Но это условие редко выполнимо из-за большого разброса размеров экранов. Как правило, с базисом 65 мм и более, следует вести съёмку общих планов пейзажей, архитектуры, без включения людей по переднему плану. В противном случае будет наблюдаться эффект миниатюризации, а люди будут выглядеть субтильными фигурами (рис. 6).

Чтобы не «утонуть» в вопросе выбора съёмочного базиса, особенно когда в распоряжении оператора имеется зеркальный риг с возможностью изменять эту величину от нуля до сотен миллиметров, в данной методике вводится понятие среднестатистический базис съёмки.

В кинематографе мы чаще имеем дело с проекционным увеличением людей на экране, поэтому величина базиса съёмки должна быть обратно пропорциональна масштабу изображения объекта на экране ( $B_c = B_{зр}/M$ ). Если за среднестатистический размер экрана соотношением 16:9 взять ширину 6,5 м с высотой 3,65 м, а среднестатистическую высоту актёра определить как 1,65 м, то получается, что снимая актёра в полный рост, минимальный масштаб проекционного увеличения будет равен 2,2. Следовательно, максимально допустимый базис съёмки сцен с людьми должен быть не более  $65/2,2 \approx 30$  мм. Если же учесть, что более распространённый случай съёмки – это нахождение актёра в рампе в поясной крупности, когда масштаб увеличения достигает 2,5, то оптимальным съёмочным базисом можно считать величину 25–26 мм. Даже при съёмке общего плана с актёрами, расположенными в глубине мизансцены, как правило, для усиления пространственности композиции, мы размещаем в плоскости рампы переднеплановые объекты, по которым и будет определяться масштаб изображения всей композиции. Поэтому можно говорить о среднестатистическом значении величины съёмочной базы **25–26 мм** при съёмке разнообразных композиций, как среднего и крупного плана, так и общего плана с переднеплановыми объектами (рис. 7).

Является ли дистанция ramпы  $L_{рампы}$  величиной переменной (по выбору оператора) или производной от выбора соотношений фокусного расстояния и базиса съёмки?

Практически, можно сконвергировать объективы на любую дистанцию. Но, при конвергировании на дис-

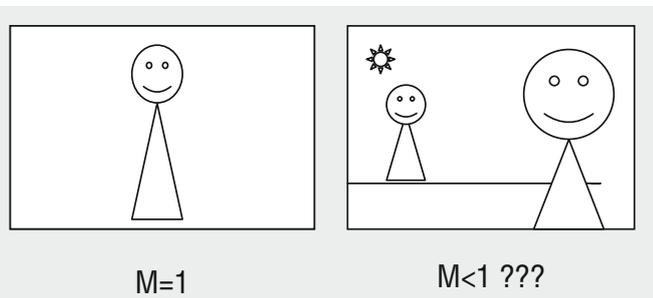


Рис. 7. Съёмка планов: крупного ( $M>1$ ), среднего ( $M=1$ ) и общего с переднеплановыми объектами ( $M<1$ )

танцию, меньшую основной дистанции ramпы, следует учитывать изменение величины горизонтальных параллаксов удалённых участков пространственной композиции. Так, например, при уменьшении величины основной дистанции ramпы в два раза, при том же сочетании величин базиса съёмки и фокусного расстояния, величина параллакса бесконечности увеличится в два раза. Поэтому, при произвольном изменении дистанции ramпы в сторону её уменьшения, следует ограничивать глубину композиции фоном, находящимся на конечной дистанции  $L_{дл}$ , изображение которого не будет вызывать дивергенцию зрительных осей.

$$L_{дл} = \frac{B \cdot F}{(H-1) \cdot P_{\infty}} \quad (7)$$

Если композиция кадра заключена в ограниченном пространстве, то оператор может сократить дистанцию ramпы и вести съёмку с произвольно выбранной дистанцией ramпы. В этом случае, когда оператор сконвергировал оптику на дистанцию  $L_c$ , меньшую основной дистанции ramпы, съёмка будет вестись в условиях гипертрофии пространства с индексом  $H$ :

$$H = \frac{L_p}{L_c}$$

Гипертрофия передачи пространства происходит по причине того, что параллакс бесконечности переходит объектам, находящимся на конечной дистанции. Например, если величина рассчитанной по формуле (5) основной дистанции ramпы составляла 5 м, а оптика сконвергирована на переднеплановый объект, расположенный на расстоянии 2,5 м, то съёмка будет вестись с гипертрофией, равной индексу  $H=2$ , потому что предметы, находящиеся на расстоянии 5 м, уже передадутся в параллаксах, равных параллаксу бесконечности. Визуально искажение пространства заметно после индекса 4 (в случае с широкоугольной оптикой гипертрофия

заметна уже при индексе 3), поэтому съёмка с гипертрофией – частый случай в практике, когда требуется увеличить крупность переднего плана в 2–3 раза. Важно помнить, что в этом случае сокращается глубина комфортно наблюдаемого пространства, и композиционная глубина кадра должна быть ограничена фоном, за пределами которого объекты будут воспроизводиться с параллаксами, превышающими базис зрения, что вызовет дивергенцию зрительных осей и двоение изображения.

При выборе базиса съёмки мы сталкиваемся с противоречивой ситуацией. Как видно из формулы (5), с уменьшением базиса съёмки уменьшается основная дистанция ramпы. При съёмке протяжённых композиций с близкорасположенным передним планом, на первый взгляд, простым решением является уменьшение значения базиса съёмки, к чему часто прибегают в зарубежной практике стереосъёмок. Такое решение позволяет приблизиться к объекту и вести съёмку без ограничения дальности фонов. Но уменьшение базиса съёмки ведёт к уменьшению стереоскопической выраженности изображения. Нельзя увеличивать глубину комфортно наблюдаемого пространства уменьшением величины базиса съёмки так, как диафрагмой мы регулируем глубину резкости. Это приводит к «уплощению» пространственной композиции, наблюдаемой на экране. Величину базиса съёмки следует определять, исходя из масштаба изображения объекта, а не из произвольно заданной глубины комфортно воспринимаемого пространства. Следует понимать, что ограничения по диапазону комфортно наблюдаемого пространства являются не недостатками оптической системы стереосъёмки, а диктуются физиологией стереоскопического наблюдения, способностью единовременного восприятия разноудалённых объектов в определённом диапазоне их расположения. Оператор сталкивается с трудностями, накладываемыми ограничениями по комфортно воспроизводимому пространству, когда он слепо переносит в стереосъёмку приёмы плоскостной композиции традиционного кино с резко выдвинутым передним планом на бесконечно удалённых фонах. Многолетняя практика съёмок отечественных стереофильмов показала, что съёмка с дискретным съёмочным базисом, чаще равным среднестатистическому ( $B_c=25$  мм), дисциплинирует оператора в работе над построением пространственной композиции кадра.

Эмпирически было определено, что не всегда следует придерживаться формулы: «чем больше масштаб объекта на экране, тем меньше должен быть базис съёмки». Например, при переходе со среднего плана на крупный, портретный (особенно при смене оптики на более длиннофокусную), следует продолжать съёмку с той же среднестатистической съёмочной базой. Это позволяет передать естественное усиление стереоскопической выраженности по мере приближения к наблюдаемому объекту и компенсировать «уплощающее» действие более длиннофокусной оптики. Так, например, если снять средний и крупный планы с последовательным



Фото. 2. Пример композиции переднего плана и фона бесконечности



Фото. 3. «Проникновение» переднепланового объекта в зал

уменьшением базиса съёмки, то изображение крупного плана, следующего за средним, будет восприниматься как более плоское. В то же время, если съёмка ведётся в ограниченном интерьере широкоугольной оптикой, то следует осторожно использовать её при укрупнении актёрского плана. В этом случае предпочтительнее использовать съёмочный базис на 20% меньше среднестатистического.

Следует отметить, что стереоскопическое изображение чувствительно к смене оптики и съёмочному базису, поэтому рекомендуется вести стереосъёмку с неизменными параметрами в пределах монтажной фразы для сохранения ощущения единства пространственных композиций.

Чем больше величина съёмочного базиса, тем больше диспаратность изображений ракурсов и эффективнее

задействованы бинокулярные факторы на дальних участках композиции кадра. Поэтому, при съёмке дальних, ландшафтных планов, при отсутствии переднеплановых объектов, следует увеличивать съёмочный базис.

*Съёмочный базис есть мощный фактор, влияющий на характер пространственной передачи стереоскопического изображения, и менять его величину на протяжении съёмки единого плана или монтажной фразы не рекомендуется.*

### Алгоритм подбора параметров стереосъёмки

Приступая к стереосъёмке, мы имеем следующий набор усреднённых параметров:

$$B_{зр} = 65 \text{ мм};$$

$$P_{\text{экран}} - 1\% \text{ от ширины изображения};$$

$$S_{\text{экран}} = 6500 \text{ мм} - \text{ширина среднестатистического экрана};$$

$$B_c = 25 \text{ мм} - \text{среднестатистический базис съёмки}.$$

При композиционном построении кадра оператор принимает ряд последовательных решений:

- Выбор крупности (масштаба) объекта, находящегося в плоскости рампы.
- Выбор оптики по необходимой ширине угла зрения и степени приближения к объекту.
- Определение величины базиса съёмки.
- Определение местоположения рампы и дистанции до неё.
- Определение границ глубины комфортно воспринимаемого пространства.

Выбрав оптику по углу зрения и определившись с величиной съёмочного ба-

зиса, оператор определяет для себя, в каком режиме вести съёмку – в пропорционально-пространственных соотношениях или с гипертрофией. Если пространственная композиция кадра простирается до бесконечности, то съёмку следует вести с основной дистанцией рампы, являющейся производной от соотношения выбранного фокусного расстояния и базиса съёмки, определяемой по формуле (5). Съёмка с такими параметрами позволит передать картину с максимально возможной глубиной комфортно наблюдаемого пространства, когда параллаксы изображения объектов бесконечности не превышают 1% от ширины экрана (фото 2).

При определении местоположения рампы в пространственной композиции кадра следует соотносить психологическое восприятие переднеплановых объектов с отжимающим действием границ кадра. Рампа может

располагаться за переднеплановым объектом, который, как правило, не должен обрезаться границами кадра. К примеру, при съёмке поясного плана актёра с вытянутой рукой, переднеплановым объектом является рука, и рампа располагается за рукой по персонажу, обрезаемому границами кадра (фото 3). В этом случае ближней дистанцией будет расстояние до вытянутой руки, и она должна быть не менее половины дистанции рампы. Тогда величина горизонтальных параллаксов объектов, проникающих в зал, будет не больше величины параллаксов бесконечности (1% от ширины изображения), но с обратным знаком.

При отсутствии объектов, «проникающих» в предэкранное пространство, переднеплановым является объект, обрезаемый границами кадра. И рампа должна проходить по этому объекту (фото 4).

Следует понимать, что рампа – это виртуальная плоскость нулевых параллаксов, проходящая через трёхмерный объект. Поэтому при съёмке средних и крупных планов от месторасположения плоскости нулевых параллаксов в срезе этого трёхмерного объекта будет зависеть степень рельефности (выдвижения в предэкранное пространство) объекта. Выставлению нулевого параллакса по зрачкам актёра предпочитается расположение рампы на уровне затылочной части персонажа.

Для оперативного подбора параметров стереосъёмки, на основе формул, описывающих взаимозависимость параметров стереосъёмок, в программе Microsoft Excel разработана интерактивная таблица (автор оператор И. Поморин), по которой можно оперативно определять границы комфортно наблюдаемого пространства при определённом сочетании фокусного расстояния и базиса съёмки, устанавливаемых в соответствии с творческими задачами, или подобрать такое сочетание при заданных границах пространства.

К исходным параметрам относятся:

- фокусное расстояние объектива  $F$ ;
- базис стереосъёмки  $B_c$ ;
- параллакс бесконечности на плёнке  $P_\infty$ .

После введения исходных параметров таблица отображает:

- основную дистанцию рампы  $L_p$ ;
- величину индекса рампы  $H$ , численно совпадающую с коэффициентом гипертрофии пространства;
- максимально допустимое расстояние  $L_d$  от точки съёмки до дальнего объекта, вычисляемое по формуле (7);
- минимально допустимое расстояние  $L_{bl}$  от точки съёмки до ближнего объекта, вычисляемое по формуле (8):

$$L_{bl} = L_p \frac{H}{H + 1} \quad (8)$$



Фото. 4. Переднеплановый объект в рампе

Чёрным цветом выделены поля таблицы 1, в которые вводится информация, неизменная на протяжении производства всего фильма. Это, прежде всего, допустимая величина параллакса бесконечности на экране 65 мм, ширина изображения на матрице стереокамеры и усреднённое значение ширины экрана 6500 мм.

Выбрав нужный по углу зрения объектив, оператор заносит в таблицу его параметры в величинах фокусного расстояния, а также величину базиса съёмки. Таблица построчно показывает диапазоны комфортно наблюдаемого пространства при съёмке с различным индексом гипертрофии (поля пурпурного цвета). В колонках голубого и зелёного цвета выстроены варианты диапазонов пространственной композиции в за-

Табл. 1. Интерактивная таблица расчёта параметров при стереосъёмке

Расчёт стереопараметров						
50	26,00	6500	25	260	65	0,25
$H$	$L_{bl, м}$	$L_{p, м}$	$L_{d, м}$			
1	2,60	5,20	$\infty$			
1,3	2,31	4,16	20,80			
2	1,73	2,60	5,20			
3	1,30	1,73	2,60			
4	1,04	1,30	1,73			
5	0,87	1,04	1,30			
$H$	$L_{bl, м}$	$L_{p, м}$	$L_{дал, м}$			
1,73	1,90	3,00	7,09			

висимости от индекса гипертрофии. В самой нижней строке по произвольной величине дистанции рампы определяются границы комфортно наблюдаемого пространства.

В своё время в МКБК в устройство дистанционного управления стереообъектива по изменению дистанции рампы ввели электронный калькулятор, который, подобно приведённой интерактивной таблице, показывает границы комфортно воспроизводимого пространства в зависимости от заложенных исходных параметров стереосъёмки (фото 5).

Если внимательно проанализировать значения диапазонов комфортно воспроизводимого пространства при разных величинах фокусного расстояния, то можно определить своеобразную закономерность, сложившуюся в системе «Стерео-70» благодаря удачному совпадению величины базиса съёмки 26 мм и ширины изображения кадра на матрице 24,8 мм. Такое сочетание величин позволяет без таблиц, путём простого арифметического расчёта, с незначительной погрешностью определять параметры съёмки:

- основная дистанция рампы в метрах определяется первой цифрой фокусного расстояния объектива;
- дальняя граница комфортно воспроизводимого пространства равна дистанции рампы при предыдущем значении индекса гипертрофии;
- ближняя граница комфортно воспроизводимого пространства равна половине действующей дистанции рампы.

Так, например, в линейке объективов «Стерео-70», при первом приближении, основной дистанцией рампы можно считать следующие величины:

$F_{\text{мм}}$	$L_{\text{бл, м}}$	$L_{\text{р, м}}$	$L_{\text{дал, м}}$
23	1,15	2,30	$\infty$
28	1,40	2,80	$\infty$
35	1,75	3,50	$\infty$
40	2,00	4,00	$\infty$
50	2,50	5,00	$\infty$
75	3,75	7,50	$\infty$
100	5,00	10,00	$\infty$

При этих значениях дальняя граница комфортно воспроизводимого пространства всегда равна бесконечности.

При съёмке с дистанцией рампы, в два раза меньшей основной (индекс гипертрофии  $H=2$ ), величинам даль-



Фото. 5. Устройство дистанционного управления стереообъектива

них границ присваиваются значения величин основных дистанций рампы этих объективов:

$F_{\text{мм}}$	$L_{\text{бл, м}}$	$L_{\text{р, м}}$	$L_{\text{дал, м}}$
23	0,58	1,15	2,30
28	0,70	1,40	2,80
35	0,88	1,75	3,50
40	1,00	2,00	4,00
50	1,25	2,50	5,00
75	1,88	3,75	7,50
100	2,50	5,00	10,00

При каждом изменении дистанции рампы в кратное число раз значение предшествующей дистанции рампы переходит в значение дальней границы пространства.

### Заключение

Методология расчёта параметров стереосъёмки, описанная в данной статье, позволяет перевести сложные математические расчёты из научной области в плоскость практической деятельности кинооператора на съёмочной площадке. Автору изображения предоставляется алгоритм его действий самостоятельно от стереографа. Таблицы и калькуляторы служат для облегчения расчётов, но не смогут заменить творческого отношения к подбору параметров стереосъёмки в зависимости от поставленных задач по композиционному построению сцены. ■



# Евсей Михайлович ГОЛДОВСКИЙ

(1903–1971)

Д.И. Масуренков, доцент, ВГИК



■ Слова «выдающийся, основоположник, родоначальник» всегда стоит употреблять с большой осторожностью, но по отношению к профессору, доктору технических наук, заслуженному деятелю науки и техники, почётному члену Международного союза технических кинематографических ассоциаций UNIATEC (УНИАТЕК) Евсею Михайловичу Голдовскому они относятся в полной мере. Он действительно был выдающийся учёный. Его трудами и трудами его соратников была создана абсолютно новая наука – кинотехника, обеспечившая фундамент для создания в нашей стране мощной, современной базы кинопроизводства и кинопроката. По уровню научно-технических разработок советская кинотехника с конца 50-х до середины 80-х годов прошлого века находилась на мировом уровне, что позволило реализовывать самые сложные художественно-постановочные проекты.

Начало научного пути Е.М. Голдовского совпало с началом становления советской кинематографии. В 1924 году молодой, только что окончивший электропромышленный факультет Московского института народного хозяйства инженер Евсей Голдовский получает приглашение преподавать курс кинотехники для студентов операторского факультета Государственного техникума кинематографии. В техникуме, преобразованном в 1929 году в Государственный институт кинематографии, Голдовский проработал всю жизнь, организовал кафедру кинотехники и до конца жизни её возглавлял.

Тесное и постоянное общение с кинематографической молодёжью и мастерами отечественного кино во многом влияли на выбор направлений научной деятельности Голдовского. Сфера его исследований – своеобразные ответы на запросы кинематографической практики и открытие новых путей развития кино как зрелища и искусства.

Евсей Михайлович не отличался ни громким голосом, ни ораторскими приёмами. Читал лекции даже несколько монотонно, но слушали его внимательно – был в его словах какой-то энергетический посыл, да и манера построения лекций, чёткость и ясность подачи достаточно сложного материала невольно заставляли студентов сосредоточенно слушать. Но главное, что привлекало в его лекциях – почти всё, что он говорил, чертил на доске, было из «первых уст», сделано и открыто им. Он был своеобразной живой историей отечественной кинотехники, создателем и одновременно разведчиком новых путей её развития.

Соединение научной работы с преподаванием в гуманитарном ВУЗе выработало у Е.М. Голдовского предельно ясный и чёткий язык его лекций, научных отчётов, книг, статей и монографий. Не отступая от строгости и логичности научного изложения, он предельно внятно и однозначно описывает и методы исследований, и полученные результаты. Его монографии, учебники и учебные пособия – своеобразный пример изложения сложнейших научных и технических вопросов ясным, живым и гибким литературным языком; предназначенные для

специалистов, они были доступны всем, кто интересовался вопросами кинотехники. Немало сделал Голдовский и для популяризации истории и новейших достижений кинотехники, особенно в сфере новых видов кинозрелищ.

Начало 20-х годов прошлого века – время становления кинотехники как промышленности и науки. На смену интуитивному и ремесленному производству приходят точные расчёты, опытные разработки, единые требования и стандарты. Одновременно идут интенсивные процессы поисков новых путей технического развития кинематографа. В советском кино эти процессы начинались на пустом месте. Не было никакого, даже кустарного производства, никаких научных разработок, вся кинотехника ввозилась из-за границы. Но руководством страны была поставлена цель: создать собственную кинотехническую промышленность, и нашлось немало молодых, энергичных и талантливых людей, готовых нередко на одном энтузиазме выполнять эти задачи. Е. М. Голдовский становится одним из первых, кто начал систематические и комплексные исследования в области кинотехники. Первым результатом его работы стало появление в 1926 году книги «Освещение киноателье» – подробное и обстоятельное исследование и оценка источников света, используемых в кино. Книга стала не только учебным пособием для студентов и практических работников киностудий. Эта книга определила техническую политику как в оснащении студий осветительной аппаратурой, так и в направлении технических разработок будущих отечественных источников света и осветительных приборов. В качестве консультанта по киноосвещению Голдовский постоянно сотрудничает с крупнейшими киностудиями страны «Союзкино» и «Межрабпомфильм».

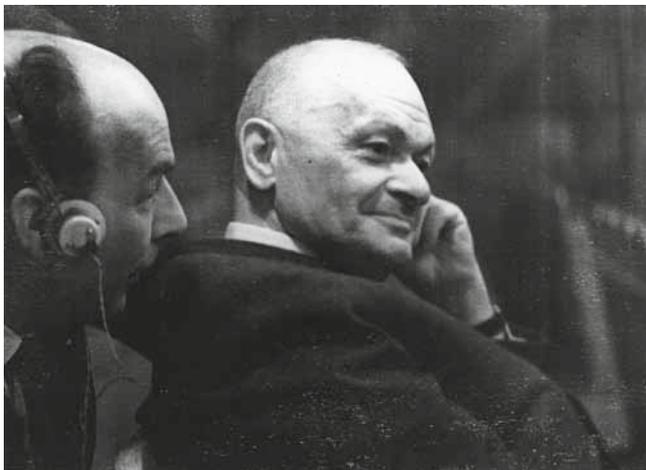
Конец 20-х годов характерен бурной активизацией научных и конструкторских разработок во всех областях кинотехники. Большая часть этих разработок концентрируется в созданном в 1929 году Научно-исследовательском кинофотоинституте (НИКФИ). Е. М. Голдовский становится одним из его организаторов. В НИКФИ он проработал тридцать лет, в течение долгого времени руководил лабораторией электротехники и возглавлял научную

работу института. Уже в первых работах проявляется научный темперамент Е. Голдовского: он не столько изобретательно-конструктивный (хотя в процессе своих исследований сделал свыше десятка технических изобретений), сколько рационально-аналитический.

Приход на рубеже 30-х годов звука в кино и одновременное появление панхроматических плёнок заставили пересмотреть всю номенклатуру тогдашней осветительной аппаратуры. В 1932 году вышла книга Е. М. Голдовского «Новейшая осветительная аппаратура для звукового кино», где проанализированы возможности использования осветительных приборов при синхронных съёмках на панхроматическую плёнку, что позволило в дальнейшем обосновать технические задания на производство отечественного киноосветительного оборудования.

По инициативе Е. М. Голдовского ещё в начале 40-х годов в нашей стране начался выпуск нового типа ламп для съёмки – зеркальных. К исследованиям в области источников света для киносъёмки Е. Голдовский возвращался неоднократно, и результаты этих исследований использовались при проектировании и выпуске нескольких поколений отечественной осветительной аппаратуры. Свообразными отчётами о проведённых работах стали его книги: в 1933 году, в соавторстве с А. Сахаровым – учебник «Светотехника кинопроизводства», в 1944 году «Светотехника киносъёмки», где проанализированы все технические аспекты киноосвещения, в том числе, и вопросы рациональной экспонетрии. В 1957 году для сборника «Цветная кинематография» им написана специальная глава «Осветительная аппаратура для цветной съёмки». В 1968 году был издан новый учебник «Светотехника киносъёмки», основные положения которого актуальны и для сегодняшнего дня. Работы НИКФИ сосредотачиваются как на решении конкретных научно-технических задач, связанных с обеспечением текущих проблем кинопроизводства и кинопроката, так и на разработке перспективных направлений развития кинематографа: цвет, стереоскопия и т. п.

В 1935 году Евсей Михайлович Голдовский командирован в Западную Европу для участия в праздновании





1938 года, прямо в своём рабочем кабинете, он был арестован. Его обвинили в намерении организовать отравление советского руководства парами ртути (несколько месяцев до ареста в проекционном помещении кремлёвского кинозала при замене была разбита ртутная лампа). Счастливая случайность или чудо помогли Голдовскому избежать трагической судьбы всего руководства тогдашнего кинематографа. Спустя 5 месяцев его освободили. По свидетельству дочери, известного кинооператора и режиссёра Марины Голдовской, он вернулся домой без единого зуба и с бессонницей на всю жизнь.

Евсей Михайлович возвращается

сорокалетия кино, но основной целью его поездки было знакомство с тогдашней кинотехникой Западной Европы. Результатом поездки стали журнальные публикации и книга «Кинотехника Европы».

Инженерная эрудиция во всех вопросах кинотехники, умение разобраться и предложить оригинальное решение сложных технических проблем выдвинули Евсея Михайловича Голдовского на должность главного инженера Главного управления по делам кинематографии (ГУК) при СНК СССР, где он координирует работы по выпуску первых отечественных изделий кинотехники для кинопроизводства и одновременно продолжает научные исследования. К середине 30-х годов в сферу научных исследований включаются вопросы, связанные с изготовлением и демонстрацией 16-мм звуковых копий. Для развёртывающейся в это время кинофикации малых городов и сельских районов это были весьма актуальные проблемы. Результатом исследований, помимо технических рекомендаций, стала опубликованная в 1936 году книга «Узкоплёночная кинематография», на страницах которой, помимо прикладных вопросов, связанных с обеспечением качественного показа узкоплёночного фильма, рассматривались и фундаментальные проблемы: формат кинокадра, выбор скорости съёмки и проекции. Замечу, что к исследованиям проблем узкоплёночного кино, проблем проекции Е. М. Голдовский обращается постоянно на всём протяжении своей научной деятельности. Свои исследования в этой области Голдовский публикует и в виде отдельных книг, и в периодических изданиях (журналы «Кинемеханик», «Труды НИКФИ», «Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии», «Техника кино и телевидения»). Последняя книга о кинопроекции «Кинопроекция в вопросах и ответах» была издана в 1971 году.

Интенсивная научная и организационная деятельность Голдовского была неожиданно прервана. В марте

к работе, и уже в 1939 году его исследование «Физические основы кинотехники» увидело свет. В книге проведён фундаментальный анализ сущности и связей всех процессов, лежащих в основе записи и воспроизведения движущихся изображений. Такого исследования о самой природе кинематографа до этого не было ни на русском, ни на другом языке. Позднее Голдовский переработал эту книгу в учебное пособие для киновузов «Введение в кинотехнику», выдержавшее два издания.

После Великой отечественной войны из Германии в Советский Союз была привезена техника и технологии производства и обработки трёхслойной цветной плёнки; исследования Голдовского в этот период, в основном, посвящены проблемам демонстрации цветных фильмов, анализу светотехники кинопроекции, особенностям восприятия цветного изображения, которые послужили основой для выработки технических стандартов кинопроекции для цветного фильма и рекомендаций работникам кинопроката.

В самом конце 40-х и начале 50-х годов, в связи с тридцатилетием отечественной кинотехники, Е. М. Голдовский выступил как историк и исследователь её развития. «Тридцать лет кинотехнической науки в СССР» (1948), «Советская кинотехника», «30 лет советской кинотехники» (1950) – три книги, изданные за два года. Для них Голдовский собрал уникальные материалы, и до сегодняшнего дня эти книги остаются наиболее полными источниками исторической информации по всем разделам истории отечественной кинотехники. Впрочем, эту историю Голдовский во многом создавал сам, хотя на страницах книг он весьма скромно пишет о своём вкладе в это развитие.

Евсей Михайлович всегда поражал окружающих своей энергией и работоспособностью. С наибольшей силой эти черты проявляются у него с середины 50-х годов в процессе разработок и внедрения новых



видов кинематографических зрелищ. Он – инициатор и руководитель работ по созданию отечественных систем широкоэкранного (с использованием анаморфотной оптики), панорамного, широкоформатного и кругорамного кино, систем, значительно повысивших эффект присутствия, а значит, – зрелищный потенциал кинематографа. Благодаря его исследованиям и под его руководством для каждой системы были выбраны формы и размеры кадра, определены технические параметры и условия съёмки и кинопоказа, обоснованы единые формы и размеры экрана для демонстрации обычных и широкоэкранных фильмов, разработан и начат выпуск съёмочной и проекционной техники. Голдовский не только координирует эти работы, но и активно пропагандирует новые кинематографические системы. «Принципы широкоэкранного кинематографа» (1956), «Проблемы панорамного и широкоэкранного и панорамного кинематографа» (1958), «Панорамный кинематограф» (1959), «Круговая кинопанорама» (1961), «Принципы широкоформатного кинематографа» (1962) – вот только несколько названий книг, написанных на эту тему, не говоря уже о статьях в кинематографических, научных и научно-популярных журналах и сборниках научных статей под его редакцией. Со страниц журнала «Искусство кино» он совместно с главным инженером киностудии «Мосфильм» Б. Коноплёвым и ведущим специалистом в области стереофонической звукозаписи М. Высоцким обращается с открытым письмом к кинематографистам с призывом активней использовать зрелищные возможности новых кинематографических систем. Усилиями Голдовского и его коллег в Советском Союзе к началу 1960-х годов была соз-

дана техника и технология производства и проката широкоформатных фильмов. Такой техникой и технологией обладали только две страны: СССР и США. В крупных городах были открыты широкоформатные кинотеатры, налажено постоянное производство широкоформатных фильмов.

Широту и многообразие научных интересов Е. М. Голдовского характеризуют свыше 50 книг и научных статей. Перу Голдовского Е. М. принадлежит научная биография Луи Люмьера («Луи Люмьер», М. Кинофотоиздат, 1935 год), написанная после его поездки во Францию, где он встречался и имел долгие беседы с изобретателем кинематографа. Краткий, но весьма полный обзор истории развития кинематографических систем составлен им в книгах «От немого кино – к панорамному», М. Изд-во АН СССР (1961) и «Очерки истории кинопроекторной техники», М. Искусство (1969). Для студентов киновузов, кроме нескольких учебников и учебных пособий, написал целую серию брошюр об актуальных проблемах тогдашних этапов развития кинотехники: «Принципы и пути развития широкоэкранного кинематографа» (1957), «Проблема цвета в современном кино» (1971), «Форматы киноплёнок» (1974).

Работы Голдовского, их практические результаты сделали его имя широко известным среди кинотехников во всём мире. На первом учредительном конгрессе Международного союза технических кинематографических ассоциаций (UNIATEC) профессор Голдовский Е. М. был единогласно избран его почётным членом. За вклад в развитие кинотехники Международной ассоциацией киноинженеров ему первому присуждается международная премия и медаль «Интеркамера». Его труды переводятся на многие иностранные языки. В память выдающихся заслуг Голдовского UNIATEC был утверждён специальный приз его имени за лучшие книги по кинотехнике. Первой этот приз получила его книга «Введение в кинотехнику», изданная уже посмертно.

За годы, прошедшие после кончины Е. М. Голдовского, кинотехника, технология кинопроизводства, да и техника кинопоказа существенно изменились. Конечно, многое из его научного наследия сегодня представляет исторический интерес, но его фундаментальные исследования, его идеи, в которых предлагаются пути развития систем записи движущихся изображений и демонстрации фильмов с видеоносителей, сегодня воплощаются в жизнь. А его комплексные принципы научных исследований и сейчас должны оставаться основой для анализа и оценки всех новинок техники производства и показа аудиовизуальной продукции. ■

*Наиболее полная библиография работ Голдовского представлена в книге Е. М. Голдовский «Избранные статьи», М. Искусство, 1979 год.*



# В КАДРЕ – ПЕРВАЯ МИРОВАЯ



Н.А. Майоров, режиссёр-оператор, киновед,  
член Союза кинематографистов России



Рис. 1. Русская пехота готовится к атаке. Осень 1914 г.

■ Сотни метров киноплёнки, тысячи фотографий, собранных в архивах мира, частных коллекциях и просто в старых домашних альбомах являются бесценным документом Великой войны, великой мировой трагедии начала двадцатого века, 100-летие которой отмечается в этом, 2014 году. Профессионалы и любители светописы оставили потомкам зримые документы времени, позволяющие сегодня увидеть события столетней давности не только в статике фотоснимка, в движении на киноплёнке, но и в подлинном цвете и объёме.

Весной 1914 года в России при Скобелевском комитете был создан Военно-кинематографический отдел, который, как информировал своих читателей апрельский номер журнала «Вестник кинематографии», «...займётся изготовлением кинематографических лент военно-

образовательного и воспитательного содержания, предназначенных специально для солдатских кинематографов и картин батальных для кинематографического рынка вообще». Не располагая никакой материально-технической базой, Военно-кинематографический отдел в начале своей деятельности заказывал производство научных и просветительских фильмов на военную тему у ведущих кинофирм России – А.О. Дранкова, А.А. Ханжонкова и других. Но к началу боевых действий и вступлению России в войну отдел сумел создать своё кинопроизводство, приобрести киноаппаратуру, организовать собственную лабораторию для обработки киноплёнки и монтажа фильмов. До начала боевых действий, в основном, снимались фильмы-иллюстрации по строевой службе, воинскому уставу, обслуживанию военной техники и оружия.



Фото 2. Хроника Первой мировой. Бельгия

С вступления в августе 1914 года России в войну и началом боевых действий основной кинопродукцией отдела стала документальная съёмка на фронтах войны (фото 1). Введение военной цензуры сделало Скобелевский комитет монополистом по производству военной хроники, которую имели право снимать только кинооператоры, работавшие в киноотделе комитета. Лучшие специалисты отечественного кинематографа и фотографы, призванные на военную службу, привлекались для работы в комитете по своей специальности. Кинооператоры и фотографы производили съёмки на различных участках фронтов только под контролем офицеров, специально выделенных по приказу начальника Штаба Верховного главнокомандующего. До октября 1915 года строжайшая цензура запрещала печатать в прессе фотографии боевых действий, отечественной военной техники и публично демонстрировать кадры кинохроники с такими сюжетами.

Многие известные мастера отечественного кинематографа начинали свою творческую карьеру в военно-кинематографическом отделе. Например, воспитанник Киевского художественного училища, известнейший отечественный кинооператор Петр Карлович Новицкий. Получив «боевое крещение» на съёмках Балканской войны, П. Новицкий за годы работы в Скобелевском комитете стал настоящим мастером документальной съёмки, летописцем великих событий. С 1914 по 1918 год он снял более двух десятков документальных фильмов, названия которых говорят сами за себя: 1914 – «Страничка жизни», «Наши казаки на войне»; 1915 – «Падение и сдача Перемышля 9 марта 1915 г.» (Падение, сдача и вступление русских войск в Перемышль); 1916 – «Английские войска в Москве», «Бой в Буковине», «Буковинский прорыв» (Боевые действия кавалерии в Буковине), «Галицийский прорыв» (Боевые действия армии генерала Щербачева), «Кошунство немцев в Дубно», «Кошунство немцев в Почаевской лавре», «Немецкие кошунства над православными святынями в освобождённых нашими доблестными войсками городах Дубно и Почаеве», «Полёты военных лётчиков на кавказском фронте» (Полёты



Фото 3. Июльская демонстрация в Петрограде 1917 года.  
Фотография Петра Оцуа

над завоёванной землёй в Анатолии), 1917 – «Великие дни Российской революции с 28 февраля по 4 марта 1917 года», «Октябрьский переворот» (Вторая революция), «Похороны жертв революции в Киеве», «Украинское движение»; 1918 – «Всероссийский съезд Советов», «Красная Финляндия» (февраль 1918 г.), «Открытие и роспуск Учредительного собрания», «Первомайские торжества 1918 г. в Москве», «Полтора пуда», «Похороны 5 января», «Разоружение московских анархистов».

Для составления фотоальбома Первой мировой войны Скобелевский комитет привлёк в качестве военного фотографа мастера исторической фотографии Петра Адольфовича Оцуа. 7 октября 1916 года в Скобелевском комитете ему было выдано удостоверение военного фотографа на право производства фотосъёмок на боевых позициях русских войск. П.А. Оцуа начал работать в жанре военного фоторепортажа со съёмки русско-японской войны и революции 1905 года в России. Впоследствии он стал автором более 40000 исторических фотографий, стал летописцем не только Первой мировой, но Гражданской войны и Октябрьского переворота 1917 года в России (фото 3).

В 1915 году в Военно-кинематографический отдел Скобелевского комитета был призван на военную службу основоположник отечественной и мировой кукольной анимации Владислав Александрович Старевич (фото 4). Занимаясь съёмкой военной кинохроники, режиссёр одновременно ставил и игровые фильмы. В период работы в Скобелевском комитете Старевич создал три фильма на польскую тему: «Пан Твардовский», «На Варшавском тракте» и «Дочь корчмаря». С большой выдумкой и творческой фантазией Владислав Александрович подошёл к созданию политической карикатуры «Сказка про немецкого грозного вояку Гоголя-Моголя и черта Балбеску» в исполнении живых актёров. Снимая этот кинолук, режиссёр просил актёров двигаться как шарнирные куклы для эффектного создания политической карикатуры.

Интересно, что именно в киноотделе Скобелевского комитета в декабре 1917 года в качестве члена ру-



Фото 4. Владислав Александрович Старевич



Фото 6. Аппарат для проведения разведывательной фотосъёмки (1914)



Фото 5. Заметка о аэрофотосъёмке в русском иллюстрированном журнале «Нива» (1916)

ководящей коллегии начал свою творческую карьеру российский деятель кино, историк кино, киновед, профессор, заслуженный деятель искусств РСФСР, один из основателей советского кинематографа, отец одного из создателей отечественной системы стереокино «Стерео-70» А.Г. Болтянского – Григорий Моисеевич Болтянский.

После Октябрьской революции постановлением Наркомпроса от 19 марта 1918 года кинематографический отдел Скобелевского комитета был национализирован.

Сегодня многие любители истории ещё помнят, что именно в Первую мировую войну, 26 августа 1914 г. лётчик российской армии Петр Николаевич Нестеров провёл первый в истории авиации воздушный бой. Но мало кто помнит и знает, что Великая война была первым вооружённым конфликтом, в котором авиация, делавшая свои первые шаги на примитивных летательных аппаратах, сыграла важную роль в деле фото-киноразведки, помогая сфотографировать позиции врага.

Процесс «воздушного фотографирования», получивший впоследствии официальное название «аэрофотосъёмка», связан в России с именем поручика Российской армии А.М. Кованько, который 18 мая 1886 года использовал портативную раздвижную фотокамеру с форматом кадра 120x160 мм, оснащённую затвором, обеспечивающим получение короткой экспозиции, для съёмки с воздушного шара Санкт-Петербурга с высоты от 800 до 1350 метров.

Россия вступила в Первую мировую войну, имея в своём распоряжении три «воздухоплавательных» батальона, созданных и прошедших боевое крещение ещё в годы русско-японской войны. Лётчики этих батальонов под командованием полковника В.Ф. Найдёнова провели аэрофотосъёмки крепости Перемышль в 1914 году. Неоднократно предоставляли разведанные с воздуха, помогавшие успешному проведению наземных операций российской армии, в том числе, и знаменитому «Брусиловскому прорыву» в 1916 году.

Для подготовки высокопрофессиональных кадров в Киеве в 1917 году создаётся первое в России профессиональное учебное заведение для подготовки специалистов в области аэрофотосъёмки «Высшая офицерская аэрофотограмметрическая школа».

Надо сказать, что отечественная фототехника для аэрофотосъёмки начала XX века шла далеко впереди зарубежной. Полковник российской армии В.М. Потте в 1913 году разработал не имеющие аналогов в мире конструкции аэрофотоаппаратов. Он создал первый в мире полуавтоматический плёночный фотоаппарат, предназначенный для плановой маршрутной и площадной аэрофотосъёмки. Высочайшие технические качества аппарата системы В.М. Потте сделали его незаменимым и самым используемым для аэрофотосъёмки во время Первой мировой войны. Надо заметить, что именно эта модель была на вооружении войсковой авиации СССР до 1930 года и использовалась для первых картографических съёмок территории Советского Союза в конце двадцатых годов прошлого века.



Фото 7. Аэрофотоснимок Екатеринослава (Днепропетровска) из немецкого фотоальбома 1918 года



Фото 9. Альберт Нокс Доусон с 35-мм кинокамерой «Akeley»



Фото 8. Альберт Нокс Доусон руководит съёмкой (на снимке слева с поднятой рукой)



Фото 10. Кинокамера «Akeley» со сменными объективами

Многие изобретения российских конструкторов аппаратуры для воздушных съёмок нашли своё продолжение в разработках ведущих зарубежных фирм. Так, компания «Кодак» в 1918 году начала выпуск первого полностью автоматизированного аэрофотоаппарата типа «K-1» со шторно-щелевым затвором, изобретённым русским фотографом С.А. Юровским ещё в 1883 году.

Одним из самых известных американских фотографов и кинооператоров Первой мировой войны был капитан войск связи США Альберт Нокс Доусон (Albert Knox Dawson (фото 8). Родившийся за десять лет до появления кинематографа (20.09.1885), с раннего возраста увлекался фотографией, а затем и кинематографическими съёмками, стал профессиональным фотографом и кинооператором, основавшим в 1912 году собственную фотографическую фирму «Brown & Dawson». С начала Первой мировой войны его фирма поставляла американской прессе фото- и киноматериалы с европейского фронта. В ноябре 1914 года Альберт Нокс Доусон сам в качестве фотокорреспондента и кинооператора снимает боевые действия. В 1915-1916 годах кинопрокатная фирма American Correspondent Film Company выпустила на экран четыре документальных фильма Доусона о событиях на полях сражений Первой мировой: «The Battles of a Nation» (Сражения наций), «The Warring Millions» (Воюющие миллионы), «The Battle and

Fall of Przemysl» (Битва и падение Пшемысля/Перемышля) и «The Fighting Germans» (Борьба немцев).

Среди фотографий Альберта Нокс Доусона периода военных съёмок сохранился снимок его работы с кинотехнической новинкой – 35-мм кинокамерой «Akeley» (Эйкли) (фото 9). В отличие от выпускавшихся в начале века кинокамер, камера «Akeley» которую сам её создатель – известный американский таксидермист, анималист, биолог, борец за охрану природы, изобретатель, фотограф-натуралист Карл Итан Эйкли (Carl Ethan Akeley) (19.05.1864–18.11.1926), из-за её формы, напоминавшей блин, называл «Pancake», была впервые снабжена встроенной штативной головкой. Эта штативная головка, работавшая по принципу гироскопа, обеспечивала плавный поворот камеры с одновременной фиксацией видеискателя, обеспечивавшего непрерывный процесс наблюдения за кадром во время съёмки. В передней части камеры устанавливались два параллельных объектива – съёмочный и видеискателя. Необычная цилиндрическая форма камеры дала возможность увеличить угол затвора до 230°, в то время как камеры прямоугольной формы позволяли обеспечить максимальный угол открытия затвора, равный только 180° (фото 10).

*Продолжение следует*