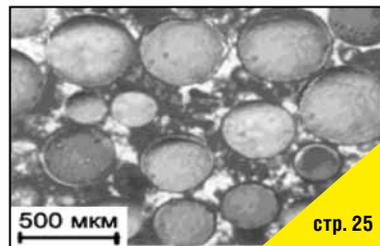


**№ 15 СОДЕРЖАНИЕ**



стр. 18



стр. 25



стр. 38



стр. 48

**Технологии**

К.О. Гусев, Д.М. Поздеев, А.Ф. Перегудов  
**Коррекция неустойчивости киноизображений методами цифровой обработки** **2**

А.Ю. Жердев, С.Б. Одинокоев  
**Пространственно-частотный спектральный анализ и опико-электронный спектроанализатор для контроля подлинности защитных голограмм** **8**

В.В. Антонов, О.В. Круглов, В.Н. Кузьмин  
**Спектроколориметр для контроля качества проецируемого изображения** **18**

В.В. Антонов, О.В. Круглов, В.Н. Кузьмин  
**Денситометры для измерения оптической плотности кинофотоматериалов** **22**

С.М. Левачев, М.А. Сакварелидзе, А.Е. Харлов, И.А. Грицкова, П.Н. Чадаев, С.А. Макарова  
**Применение полимерных микросфер в качестве твёрдых стабилизаторов эмульсионных систем** **25**

Л.Г. Лишин  
**Оцифровка архивных кинодокументов** **30**

**Стандарты**

Д.В. Шевченко  
**Определение светового потока цифрового кинопроектора** **34**

**Страницы истории кино**

О.С. Грачёва  
**Влияние эволюции съёмочной техники на развитие кинематографа** **38**

Н.А. Майоров  
**Цветной кинематограф** **48**

**Требования для публикаций 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:
  - аннотацию (или реферат) на русском и английском языках;
  - 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»  
при поддержке Министерства культуры Российской Федерации  
Руководитель проекта:  
Костылев Олег Юрьевич  
Главный редактор:  
Индлин Юрий Александрович, к.т.н.  
Выпускающий редактор:  
Захарова Тамара Владимировна  
Арт-директор, оформление обложки:  
Шишкин Владимир Геннадьевич  
Верстка и дизайн:  
Копошилова Мария Васильевна  
Корректор:  
Сайкина Наталья Владимировна

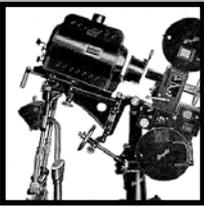
Редакционный совет:  
Комар В.Г., проф., д.т.н., ОАО «НИКФИ»  
Белоусов А.А., проф., д.т.н., СПбГУКиТ  
Тихомирова Г.В., проф., д.т.н., СПбГУКиТ  
Сакварелидзе М.А., д.х.н., МКВИ  
Тимофеев А.Е., к.т.н., ОАО «НИКФИ»  
Ковалевская Н.С., к.т.н., ОАО «НИКФИ»  
Переудов А.Ф., к.т.н., СПбГУКиТ  
Блохин А.С.,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

Отпечатано в ООО «Типография ПАРАДИЗ»  
Объём 7 п.л. Заказ № 288.  
Тираж 1500 экземпляров.

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

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

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



# КОРРЕКЦИЯ НЕУСТОЙЧИВОСТИ КИНОИЗОБРАЖЕНИЙ методами цифровой обработки

К.О. Гусев,  
Д.М. Поздеев,  
аспиранты,  
руководитель  
А.Ф. Перегудов, к.т.н.,  
СПбГУКиТ



## Аннотация

В статье рассматривается возможность коррекции неустойчивости киноизображений путём обработки файлов, включающих в себя собственно кинокадр и сопутствующие ему перфорации. Даётся обзор существующих программных продуктов стабилизации изображений и формируются требования к специализированному программному обеспечению для работы в составе фильм-сканера. Предлагается один из возможных алгоритмов такого программного обеспечения.

**Ключевые слова:** кинокадр, неустойчивость, стабилизация, вектор движения.

В современном фильмопроизводстве значительное место занимают технологии Digital Intermediate. При этом оригинальная съёмка ведётся на киноплёнку, а после химико-фотографической обработки киноизображение переводится в цифровую форму с использованием фильм-сканеров [1]. Оцифрованные материалы подвергаются монтажу и цветокоррекции. Готовый фильм выводится на киноплёнку для демонстрации в традиционных кинотеатрах или сохраняется в файле для показа в кинотеатрах с цифровой проекцией (рис. 1). Второй путь является стратегическим для развития киноиндустрии.

Перевод киноизображения в цифровую форму также используется при реставрации архивных кинофильмов.

Во всех случаях использования фильм-сканеров, одним из наиболее важных качественных параметров является неустойчивость проецируемого кадра в вертикальном и горизонтальном направлениях. Допустимая вертикальная неустойчивость кадра  $\Delta H_z$  при кинопроекции составляет 46–57 мкм в плоскости четырёхперфорационного 35-мм кинокадра [2], и формируется в сквозном кинематографическом процессе как

$$\Delta H_z = \sqrt{\Delta H_1^2 + \Delta H_2^2 + \Delta H_3^2 + \Delta H_4^2}, \quad (1)$$

MOTION PICTURES UNSTEADINESS CORRECTION USING DIGITAL PROCESSING

*Kirill Gusev, Dmitrii Pozdееv, scientific leader Alexander Peregudov, St.Petersburg State University of Film and Television*

## Abstract

*In the article possibility of unsteadiness correction of scanned film frames with perforations is shown. Available software products for image stabilization are analyzed and demands are advanced for specialized image processing software working in film-scanner structure. One of possible algorithms of such a software is suggested.*

**Keywords:** frame, unsteadiness, stabilization, motion vector.

где  $\Delta H_i$  – неустойчивость кадра для процесса  $i$ -стадии.

При цифровом кинопоказе результирующая неустойчивость определяется характеристиками съёмочной кинокамеры и фильм-сканера. На рис. 1 показаны типовые значения  $\Delta H_i$  для аппаратуры киносъёмки, печати фильмокопий и кинопроекции. Для фильм-сканеров отсутствуют стандарты на допустимую неустойчивость кадра. Будем считать, что требуемый показатель  $\Delta H$  для фильм-сканеров должен быть не хуже, чем для профессиональной съёмочной киноаппаратуры, а именно 5–8 мкм.



Рис. 1. Фильм-сканеры в производстве и реставрации киноматериалов

Неустойчивость изображения, превышающая допустимую, при сканировании киноплёнки может быть вызвана следующими причинами:

- погрешностями в работе механизма транспортирования киноленты;
- износом или погрешностями в работе поперечно-направляющих роликов;
- изменением линейных размеров киноленты, вызванных усадкой вследствие длительного хранения.

Для коррекции неустойчивости изображения в фильм-сканерах предлагается оцифровывать изображения, включающие в себя кинокадр и сопутствующие ему перфорации. По изображению перфораций вычисляется вектор неустойчивости, то есть вектор движения перфорации от кадра к кадру, и на основе полученных данных производится стабилизация положения кинокадра. Затем часть исходного изображения с перфорациями отсекается, и в дальнейший процесс направляются файлы стабилизированных кинокадров.

Такой подход имеет ряд преимуществ: на определение вектора неустойчивости кадра не влияет движение различных объектов внутри него или преднамеренное движение всего изображения, например, панорамирование. Перфорации имеют детерминированную форму и размеры (рис. 2, а и б), характеризуются периодичностью, что позволяет использовать эффективные алгоритмы определения положения цифрового кадра по перфорациям.

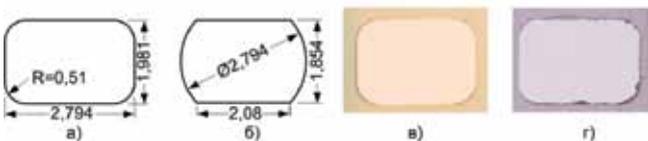


Рис. 2. Перфорации: а) позитивная; б) негативная;  
в) изображение перфораций новой киноленты;  
г) изображение перфораций изношенной фильмокопии

Задача осложняется при использовании архивных кинолент. Длительный срок их хранения приводит к усадке на величину до 3%, а многократный проход фильмокопий через механизмы киноаппаратуры приводит к износу и повреждению перфораций (рис. 2, г). Изображение реальных перфораций может иметь низкий контраст (рис. 2, в) и неровный, загрязнённый контур.

В таком случае для достижения требуемых показателей неустойчивости изображения требуется предварительная обработка, например, увеличение контраста или фильтрация для снижения уровня шумов.

Работоспособность предложенного подхода проверена путём использования существующих программных пакетов цифровой обработки изображения Virtual Dub [3, 4], Adobe After Effects [5], Apple Shake [6]. Два первых пакета использовались в операционной системе Windows на платформе PC, пакет Apple Shake запускался в системе MAC OS на платформе Apple.

Общая характеристика данных решений – работа в два прохода, на первом из которых вычисляются значения вектора неустойчивости для каждого кадра, а на втором – выполняется собственно коррекция неустойчивости изображения (рис. 3).



Рис. 3. Процессы коррекции неустойчивости изображения

Процесс на рис. 4 оптимизирован для ускорения обработки путём отсечения части изображения с перфорациями, над которыми производятся операции контрастирования и расчёта векторов неустойчивости. Существенно меньший объём обрабатываемых пикселей снижает нагрузку на систему хранения данных.



Рис. 4. Оптимизированные процессы коррекции неустойчивости изображения

Исходные цифровые киноизображения были получены на опытном образце фильм-сканера с матричным фотосенсором, имеющим разрешение 4752x3168 пикселей с глубиной цвета 14 бит на каждый из основных цветов R, G, B. Обработывались изображения, полученные с киноленты 35-мм при освещении «на просвет». Выходные изображения имели разрешение по горизонтали 4096 (4K) пикселей, что соответствует современным требованиям Digital Intermediate.

Virtual Dub осуществляет стабилизацию изображения при помощи дополнительного модуля Deshaker, в основу работы которого положен принцип вычисления векторов движения. Изображение разбивается на блоки, затем для каждого блока вычисляется вектор движения путём поиска его аналога в последующем кадре. Из полученных векторов отбираются такие, которые характеризуют движение кадра в целом, и на их основе вычисляются вертикальные и горизонтальные координаты вектора неустойчивости, поворот и масштабирование.

К положительным свойствам данного программного продукта можно отнести возможность задать (вручную) обрабатываемую область, что сокращает время обработки. После первого прохода создаётся текстовый файл, в котором каждому кадру сопоставлены найденные значения вектора неустойчивости, поворота и масштабирования, что даёт дополнительную гибкость, позволяя ис-

пользовать Deshaker только для выполнения одного из проходов (либо первого, либо второго), а другой выполнять средствами других программ.

Основной недостаток – низкое быстродействие, обусловленное самим принципом вычисления и обработки векторов движения. Принципиально быстродействие может быть увеличено только обменом на точность и надёжность работы, что недопустимо в профессиональном кинопроизводстве. Кроме того, на определение результирующего вектора движения кадра оказывают влияние шумы изображения, пыль и царапины киноплёнки, что заставляет применять сложную предварительную обработку. Для достижения приемлемых результатов стабилизации необходимо проводить многочисленные эксперименты с различными настройками нахождения векторов движения и отбрасывания тех векторов, которые характеризуют не общее движение кадра, а локальные перемещения объектов изображения.

Программные системы Adobe After Effects и Apple Shake широко используются для монтажа и спецэффектов, имеют встроенные специализированные функции отслеживания движения, в том числе и для целей стабилизации изображения с субпиксельной точностью. В основе их лежит выбор отслеживаемого элемента изображения, характеризующегося, например, перепадом яркости или цветности, и определение области в последующем кадре, наиболее сильно коррелирующей с данным элементом. Процесс определения в каждом кадре координат выбранного движущегося элемента называется трекингом движения. Фактически пользователь задаёт размеры и положение единственного на весь кадр блока, для которого вычисляется вектор движения. Его значение и принимается равным вектору движения всего кадра. Такой блок – трекер – состоит из трёх элементов (рис. 5):

- центральной опорной точки, принимаемой за начало координат отсчёта вектора движения;
- внутренней области, содержащей отслеживаемый элемент;
- внешней области, в пределах которой производится поиск отслеживаемого элемента.

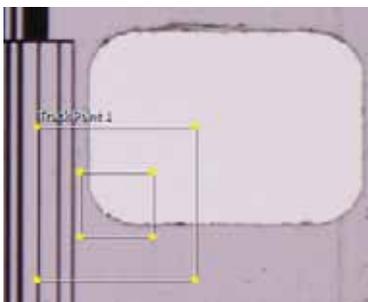


Рис. 5. Трекер

Один трекер позволяет определить вертикальное и горизонтальное смещение, два – как смещение, так и поворот и масштабирование, а четыре позволяют скорректи-

ровать также трапециевидные искажения изображения путём фиксации положения углов воображаемого прямоугольника на изображении.

Вместе с вектором движения для каждого кадра вычисляется коэффициент корреляции выбранного для трекинга элемента изображения в текущем и предыдущем кадрах. Величина коэффициента корреляции используется как мера достоверности определения вектора движения. При снижении достоверности трекинга ниже указанного пользователем порога приложения позволяют остановить трекинг, предсказать движение, пометить кадр как ключевой или выбрать другие варианты действий, что позволяет свести к минимуму ручные вмешательства и добиться высокой надёжности трекинга. Поскольку изображения перфораций очень мало изменяются от кадра к кадру, то корреляция между ними составляет величину порядка 0,96...1, а при снижении её до 0,95 можно говорить о нештатной ситуации, например, о загрязнении или повреждении перфорации. В этом случае наилучшим решением является остановка автоматического трекинга и ручная отработка «сложного» кадра путём задания другого элемента (соседней, неповреждённой перфорации) с сохранением той же опорной точки.

По сравнению с After Effects, Shake обладает рядом дополнительных возможностей. Для ускорения обработки область файла изображения, считываемая с устройства хранения, автоматически ограничивается. Полученные координаты вектора неустойчивости и величины достоверности их определения экспортируются в виде текстового файла. Имеется и возможность импорта координат, вычисленных другой программой. Shake предоставляет широкий набор функций предварительной обработки, комбинируя и конфигурируя которые можно добиться уверенного трекинга: повышение контрастности, резкости, выделение контуров, бинаризация по порогу, отсечение уровней выше или ниже порога и т.д. Цепь предварительной обработки применяется на этапе вычисления вектора движения, а на этапе сдвига и сохранения скорректированных файлов включается её обход.

Для экспериментального сравнения точности работы программ Virtual Dub, After Effects, Shake использовалась тестовая последовательность изображений, полученных оцифровкой архивной фильмокопии. Визуальная оценка результатов показала, что Shake обеспечивает существенно более качественную стабилизацию изображения. Поэтому для получения сравнительных численных оценок качества работы перечисленных программ выходные последовательности загружались в Shake, где производился расчёт координат вектора неустойчивости после коррекции.

Величины неустойчивости (табл. 1) вычислялись как разность максимального и минимального значений соответствующей координаты в пикселях. Значения в микрометрах получены, исходя из следующих вычислений. Размеры кинокадра составляют

$A_k [\text{мм}] \times B_k [\text{мм}] = 24,92 \times 18,68$ , а разрешение фотосенсора фильм-сканера –  $A_c [\text{пикс}] \times B_c [\text{пикс}] = 4752 \times 3168$ . Шаг четырёхперфорационного кадра равен:

$$H_k = 4H_n = 4 \cdot 4,75 = 19 \text{ мм}, \quad (2)$$

где  $H_n = 4,75$  мм – шаг перфорации [7].

Приравняем высоту поля зрения фотосенсора на кинокадре шагу кадра, тогда размер пикселя фотосенсора, приведённый к 35-мм кинокадру, составит

$$R = \frac{H_k [\text{мм}]}{B_c [\text{пикс}]} = \frac{19000}{3168} \cong 6 \text{ мкм}. \text{ Величины остаточной неустойчивости в микрометрах получим из соотношения:}$$

$$U [\text{мкм}] = U [\text{пикс}] \cdot R, \quad (3)$$

где  $U [\text{пикс}]$  – величина неустойчивости цифрового изображения, пикселей;  $U [\text{мкм}]$  – величина неустойчивости, приведённая к 35-мм кинокадру, мкм.

Табл. 1. Значения неустойчивости до и после коррекции

Направление относительно оси киноленты		До коррекции	После коррекции		
			Shake	After Effects	Virtual Dub
Поперечное (Горизонтальная неустойчивость)	пикселей	12,50	1,45	4,94	4,37
	мкм	75,0	8,72	29,66	26,23
Продольное (Вертикальная неустойчивость)	пикселей	21,97	0,60	4,28	7,09
	мкм	131,82	3,60	25,68	42,54

Исследование показало, что пакет Shake даёт заданный уровень стабилизации со своими стандартными настройками по предварительной обработке изображения. Пакеты After Effects и Virtual Dub требуют более тонких настроек предварительной обработки и не обеспечивают стабильной работы с длинными последовательностями изображений. Время обработки последовательностей для всех пакетов примерно одинаково и составляет 1-4 секунды на кадр 4K в зависимости от производительности вычислительной платформы. Автоматическая работа всех программ прерывается при анализе вектора неустойчивости деформированных перфораций. Негативные и позитивные киноматериалы требуют различных настроек, учитывающих различный диапазон полезных плотностей кинокадра. При оцифровке смонтированных оригинал-негативов настройки должны адаптироваться к каждому фрагменту от склейки до склейки.

Использованные программные продукты, осуществляющие стабилизацию изображения, вследствие своей универсальности сложны с точки зрения интерфейса пользователя и обладают относительно низким быстродействием, поскольку не используют особенностей изображения перфораций. Поэтому предлагается разработ-

ка для фильм-сканеров специализированных алгоритмов и программного обеспечения для коррекции неустойчивости изображений, особенно при оцифровке архивных кинолент.

Специализированное программное обеспечение для коррекции неустойчивости изображений в составе фильм-сканера, с учётом положительных черт рассмотренных коммерческих программ, должно удовлетворять следующим требованиям:

- Модульный принцип построения.

Программа может быть построена из двух модулей, первый из которых осуществляет вычисление вектора неустойчивости кадра (с возможностью импорта/экспорта его значений), а другой – сдвиг кадра. Такая структура позволит независимо совершенствовать алгоритмы вычисления вектора неустойчивости и сдвига изображений, например, с использованием интерполяции для достижения субпиксельной точности.

- Алгоритмы вычисления вектора неустойчивости с высоким быстродействием, точностью и надёжностью работы.

Высокое быстродействие может быть достигнуто с учётом свойств изображений перфораций: периодически-

сти, чётких контуров, представляющих собой простую геометрическую фигуру, высокой корреляции между изображениями двух различных перфораций. Дополнительно быстродействие программы стабилизации может быть увеличено благодаря возможности отсека и обработки только той части изображения, которая содержит перфорации.

- Возможности предварительной обработки.

Для повышения достоверности определения вектора неустойчивости программа должна включать функции дополнительной обработки, например, повышения контрастности, резкости, фильтрации шумов и царапин.

Для коррекции неустойчивости был разработан и реализован в среде Matlab алгоритм, основанный на выделении контуров перфорации с последующим определением координаты её центра. После определения координат центра каждой перфорации в последовательности осуществляется сдвиг кадров таким образом, чтобы координаты всех перфораций соответствовали одному и тому же значению, например, координате первой из них.

Задача нахождения координаты центра перфорации реализовывалась в несколько этапов. На первом цветное

изображение преобразовывалось в полутоновое. В среде Matlab цветные изображения представляются и обрабатываются в виде трёхмерных матриц отсчётов сигналов трёх каналов R, G, B, а полутоновые изображения – двумерных матриц отсчётов яркости.

Для устранения влияния на работу алгоритма царапин и пыли на киноленте полутоновое изображение подвергалось обработке линейным низкочастотным фильтром Гаусса. Маска фильтра рассчитывалась по формуле [8]:

$$h(m,n) = \frac{e^{-\frac{m^2+n^2}{2\sigma^2}}}{\sum_{m=-1}^M \sum_{n=-1}^N e^{-\frac{m^2+n^2}{2\sigma^2}}} \quad (4)$$

где M, N – размер маски,  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение распределения Гаусса.

Затем производилась свёртка маски фильтра и матрицы изображения.

Значения констант в формуле (4) было определено экспериментально: M = N = 5,  $\sigma = 10$ . При таких значениях точность работы алгоритма не снижается ни вследствие влияния зашумленности края перфораций, ни вследствие его чрезмерного размытия фильтром низких частот.

Далее, одним из способов, например, при помощи свёртки матрицы изображения согласно формуле (5), вычислялся градиент яркости в продольном направлении [9].

$$Ic_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * I \quad (5)$$

где I – матрица отсчётов яркости исходного изображения,  $Ic_x$  – матрица отсчётов градиента яркости.

На рис. 6 приведено изображение перфорации и продольного градиента яркости данного изображения.

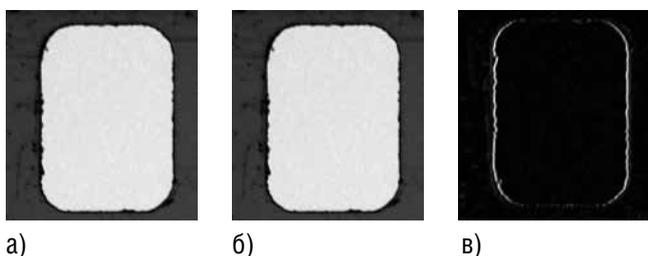


Рис. 6. Изображение перфорации до (а) и после (б) низкочастотной фильтрации, градиент яркости в продольном направлении (в)

Для полученной матрицы градиента рассчитывались суммы элементов всех столбцов, затем в левой и правой частях матрицы находились столбцы с максимальной суммой (рис. 7).

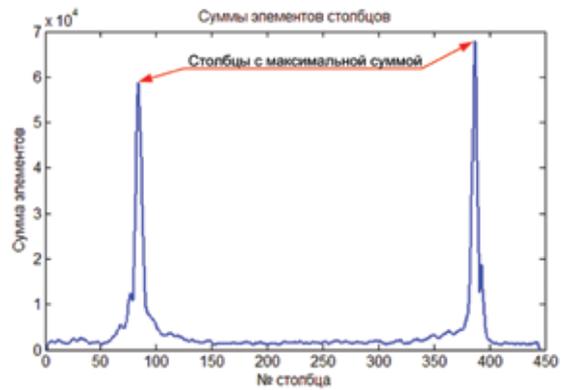


Рис. 7. График сумм элементов столбцов с отмеченными максимумами в левой и правой частях

Столбцы с максимальной суммой элементов, а также соседние, сумма элементов которых спадала монотонно (рис. 8), признавались соответствующими левому и правому (по рис. 6) краям перфорации. Таким образом, исключались повторные отклики на одни и те же контура исходного изображения.

На следующем этапе путём пороговой обработки отбрасывались элементы, не примыкающие сверху и снизу (по рис. 8) непосредственно к контурам перфорации. В результате перечисленных этапов на изображении оставались только элементы, соответствующие поперечным контурам перфорации (рис. 9).

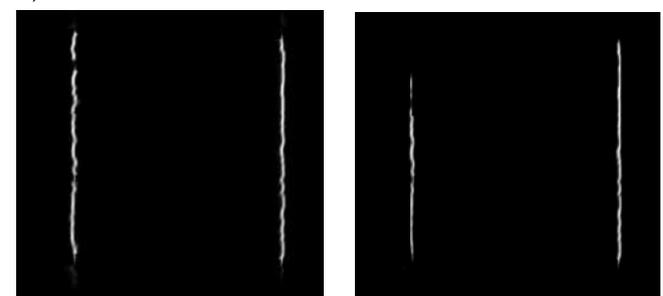
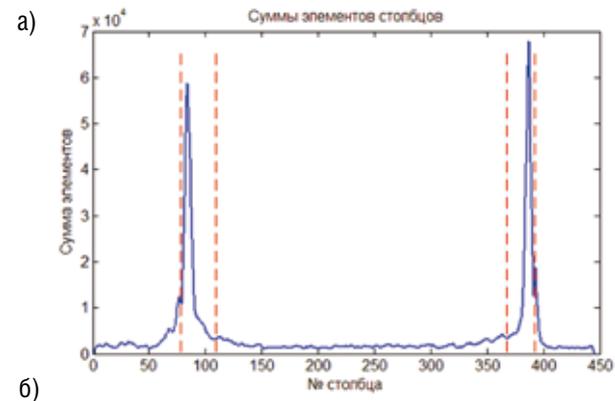


Рис. 8. Нахождение столбцов, соответствующих контурам перфорации (а) и изображение, содержащее только эти столбцы (б)

Рис. 9. Выделенные поперечные контуры перфорации

Далее находились усреднённые координаты контуров перфорации по продольной оси киноленты. При усреднении нормированные суммы элементов столбцов выступали в качестве весовой функции. Координата центра перфорации определялась как среднее арифметическое координат контуров:

$$C_l = \sum_j \frac{\sum_i I_{c_{xl}}(i, j)}{\sum_i \sum_j I_{c_{xl}}(i, j)}$$

$$C_r = \sum_j \frac{\sum_i I_{c_{xr}}(i, j)}{\sum_i \sum_j I_{c_{xr}}(i, j)}$$

$$C = \frac{C_l + C_r}{2} \quad (6)$$

где  $C_l$  – усреднённая координата левого контура перфорации,  $C_r$  – усреднённая координата правого контура перфорации,  $C$  – усреднённая координата центра перфорации,  $I_{c_{xl}}$  – отсчёты градиента яркости левого контура перфорации,  $I_{c_{xr}}$  – отсчёты градиента правого контура перфорации.

Затем для получения координаты центра перфорации по оси, перпендикулярной оси киноленты, матрица полутонового изображения перфорации транспонировалась, и процедура расчёта повторялась.

Из полученных координат центров перфораций последовательности кадров вычитались значения координат центра перфорации первого кадра, затем производилось округление до целых. В соответствии с полученными значениями векторов неустойчивости осуществлялся сдвиг кадров последовательности.

Для оценки точности работы алгоритма и сравнения с существующими программами, выполняющими коррекцию неустойчивости, та же тестовая последовательность, которая использовалась для испытания программ Virtual Dub, Shake и After Effects (табл. 1), после обработки загружалась в программу Shake, где определялась остаточная неустойчивость (табл. 2).

Табл. 2. Значения неустойчивости до и после коррекции с использованием разработанного алгоритма

Направление относительно оси киноленты		До коррекции	После коррекции
Поперечное (Горизонтальная неустойчивость)	пикселей	12,50	2,01
	мкм	75,0	12,07
Продольное (Вертикальная неустойчивость)	пикселей	21,97	2,55
	мкм	131,82	15,28

На рис. 10 приведены графики величин сдвига кадров последовательности относительно первого кадра до и после коррекции.

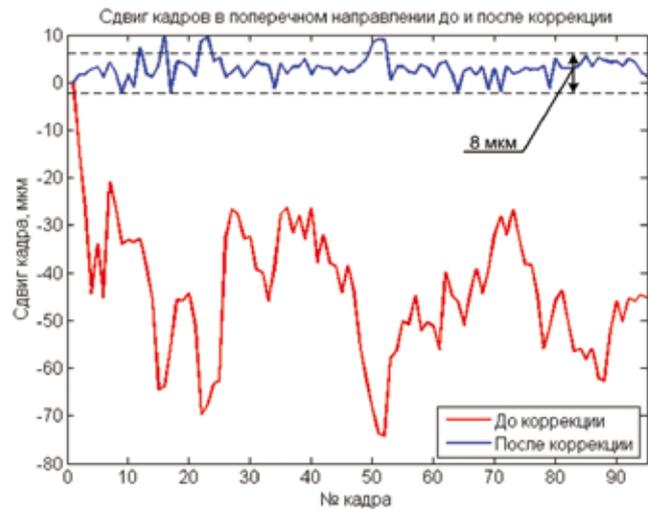


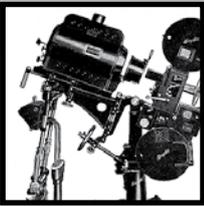
Рис. 10. Сдвиг кадров последовательности в поперечном направлении относительно первого кадра до и после коррекции

### Заключение

Значения остаточной неустойчивости (табл. 2, рис. 10), полученные после коррекции по предложенному алгоритму, превосходят результаты программ After Effects и Virtual Dub, однако превышают допустимую величину – 8 мкм. На рис. 10 видны остаточные скачки, что говорит о недостаточной надёжности определения координаты из-за воздействия загрязнений и повреждений края перфорации на отдельных кадрах. Дальнейшее улучшение надёжности работы алгоритма возможно, например, за счёт дополнительной предварительной обработки, а также использования нескольких перфораций для вычисления вектора неустойчивости кадра. Таким образом, работа предложенного алгоритма в составе программного обеспечения фильм-сканера возможна при дальнейшем улучшении надёжности определения вектора неустойчивости кадров с сильно загрязнёнными или повреждёнными перфорациями. ■

### ЛИТЕРАТУРА

1. Перегудов А.Ф. Фильм-сканеры: между прошлым и будущим // Техника и технология кино, 2007, №5, с. 56–63.
2. Мелик-Степанян А.М., Проворнов С.М. Детали и механизмы киноаппаратуры. Л.: Изд. ЛИКИ, 1980, с. 520.
3. <http://www.virtualdub.org/>
4. <http://www.guthspot.se/video/deshaker.htm>
5. <http://www.adobe.com/products/aftereffects/>
6. <http://www.apple.com/shake/>
7. SMPTE 139-2003. SMPTE standard for Motion-Picture Film (35-mm) – Perforated KS
8. <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book3/11/fspecial.php>
9. Wikipedia: Edge Detection. [http://en.wikipedia.org/wiki/Edge\\_detection](http://en.wikipedia.org/wiki/Edge_detection)



# Пространственно-частотный спектральный анализ и оптико-электронный спектроанализатор для контроля подлинности защитных голограмм

А.Ю. Жердев,  
студент 5-го курса,  
научный руководитель  
С.Б. Одиноков, к.т.н.,  
МГТУ им. Н.Э. Баумана



## Аннотация

Предложен и исследован метод пространственно-частотного спектрального анализа для контроля подлинности защитных голограмм, нанесённых на различные документы и продукцию. Построена и исследована математическая модель пространственно-частотного спектра защитной голограммы. Предложены интегральные, точечные и комбинированные характеристики пространственно-частотного спектра защитной голограммы. Проведено компьютерное моделирование процесса контроля подлинности защитных голограмм. Предложена и исследована оптическая схема оптико-электронного спектроанализатора для контроля подлинности защитных голограмм.

**Ключевые слова:** защитная голография, контроль подлинности, пространственно-частотный спектральный анализ.

## Введение

В целях контроля подлинности различных документов и продукции – в том числе, для оценки подлинности кино-, видео- и аудиопродукции – одной из важнейших стала задача идентификации защитных голограмм, нанесённых на данные документы и продукцию. С каждым годом растёт как количество тиражируемой продукции, уже обладающей голограммой в качестве важного элемента защиты, так и номенклатура этой продукции.

Защитная голограмма – сложный и многоуровневый элемент защиты продукции. Полный цикл контроля всех степеней защиты голограммы не происходит без преобладающего участия квалифицированного оператора-эксперта, которому необходима целая лаборатория различного оборудования для всестороннего

SPATIAL FREQUENCY SPECTRAL ANALYSIS AND OPTICAL-ELECTRONIC SPECTRUM ANALYZER FOR AUTHENTICITY CONTROL OF PROTECTIVE HOLOGRAMS

A. Zherdev, 5 th year student MSTU Bauman, scientific leader S. Odinkov, Ph.D.

## Abstract

The method of the spatial frequency spectral analysis for the identification of protective holograms is offered and investigated. The mathematical model of a spatial frequency spectrum of the protective hologram is constructed and investigated. The integral, dotty and combined characteristics of a spatial frequency spectrum of the protective hologram are offered. Computer modeling of process of the identification of protective holograms is spent. The optic scheme of the optoelectronic spectrum analyzer for the identification of protective holograms is offered and investigated.

**Keywords:** protective holography, identification, spatial frequency spectral analysis.

исследования защитной голограммы. Отсутствие автоматизированных комплексов для контроля подлинности защитных голограмм с вынесением объективного автоматического решения о подлинности голограммы дополнительно замедляет рост сферы применения защитных голограмм.

В данной статье предложен и исследован метод пространственно-частотного спектрального анализа защитных голограмм, который позволяет разработать автоматизированный оптико-электронный анализатор для контроля подлинности защитных голограмм. Построена и исследована математическая модель пространственно-частотного спектра защитной голограммы. Предложены интегральные, точечные и комбинированные характеристики пространственно-частотного спектра защитной го-

лограммы, необходимые для процесса идентификации. Проведено компьютерное моделирование процесса контроля подлинности защитных голограмм. Предложена и исследована оптическая схема опико-электронного спектроанализатора для контроля подлинности защитных голограмм.

### 1. Математическое описание метода пространственно-частотного спектрального анализа защитных голограмм

Рассмотрим метод пространственно-частотного спектрального анализа скрытых изображений защитных голограмм (ЗГ) на примере рельефно-фазовых голограмм. Ограничимся при этом наиболее распространёнными рельефно-фазовыми голограммами, изготавливаемыми по технологии dot-matrix и растрижированными горячим тиснением в голографическую фольгу.

Основу голографической фольги составляет лавсан, предохраняющий голограмму от внешних воздействий. Под лавсаном располагаются специальные адгезионные слои, слой термолака и нанесённый на термолак тончайший металлизированный слой с высоким коэффициентом отражения, например, алюминиевый. В термолак сквозь алюминиевый слой происходит тиснение мастер-матрицы голограммы, после чего в термолаке сохраняется микроструктура голограммы. Для получения самоклеящихся ЗГ на металлизированный слой наносится на клей с остаточной липучестью и силиконизированная бумага.

Получение мастер-голограммы с помощью технологии dot-matrix позволяет использовать следующий ряд допущений:

- 1) голограмма представляет собой совокупность рельефно-фазовых дифракционных решёток с синусоидальным профилем рельефа;
- 2) высота  $h$  (или амплитуда  $h/2$  гармоник профиля) рельефа голограммы не зависит от частоты гармоники и обычно составляет  $h = 150 - 200$  нм ;
- 3) размер минимального элемента изображения на голограмме ограничен и составляет  $a \times a = 5 \times 5$  мкм;
- 4) пространственные частоты дифракционных решёток (опорные частоты) голограммы лежат в диапазоне от  $\nu_{\min}^{0n} = 900$  л/мм до  $\nu_{\max}^{0n} = 1600$  л/мм (и всегда  $\nu_{\max}^{0n} < 2\nu_{\min}^{0n}$ ), что позволяет воспроизводить цвета кодируемого рисунка на голограмме от синего до красного при каноническом угле освещения  $45^\circ$ ;
- 5) пространственная ориентация гармоники профиля в плоскости голограммы лежит в диапазоне от  $0$  до  $\pi$ ;
- 6) начальная фаза одной гармоники на всей голограмме остаётся постоянной;
- 7) элементы изображения голограммы, формируемые дифракционными решётками с различными опорными частотами, не накладываются друг на друга.

Иначе говоря, защитная голограмма, выполненная по технологии dot-matrix, представляет собой совокупность не накладывающихся элементов изображения (ЭИ) раз-

мером от  $a \times a$ , формируемых дифракционными решётками с опорными частотами от  $\nu_{\min}^{0n}$  до  $\nu_{\max}^{0n}$ .

Сущность метода пространственно-частотного спектрального анализа ЗГ заключается в получении пространственно-частотного спектра (ПЧС) анализируемой ЗГ, описании ПЧС ЗГ при помощи интегральных и точечных характеристик и идентификации анализируемой ЗГ корреляционным методом опознавания путём сравнения характеристик ПЧС анализируемой ЗГ с характеристиками эталонной ЗГ. Для этого достаточно осветить ЗГ лазерным или светодиодным излучением, построить при помощи Фурье-преобразующего объектива ПЧС ЗГ, зарегистрировать его матричным приёмником излучения и обработать сигнал с помощью специальных алгоритмов.

#### 1.1. Математическое моделирование пространственно-частотного спектра защитной голограммы

В соответствии с вышеизложенными допущениями, определим вид коэффициента отражения рельефно-фазовой голограммы для монохроматического излучения на длине волны  $\lambda$ . Для этого разобьём ЗГ на  $N$  элементов изображения (ЭИ), сформированных различными опорными частотами. Пример такого разбиения показан на рис. 1.

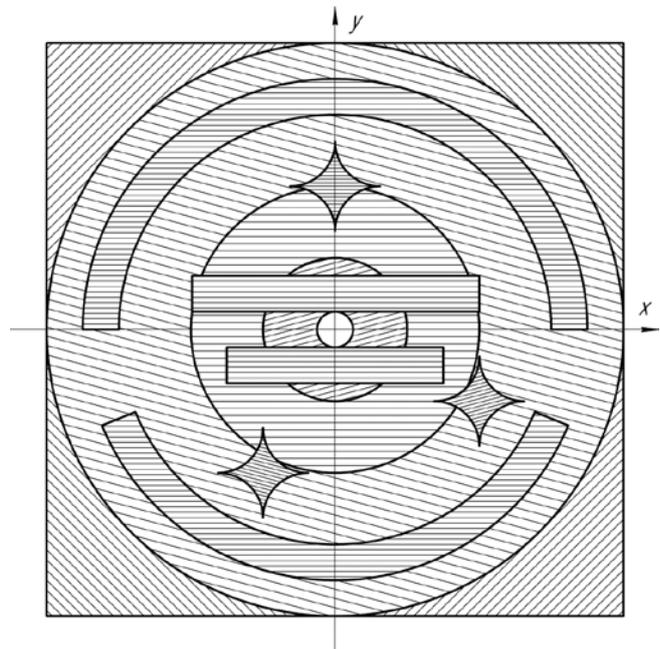


Рис. 1. Схема разбиения защитной голограммы на элементы изображения

Анализ процесса отражения света от рельефно-фазовой дифракционной решётки позволяет записать зависимость коэффициента отражения ЗГ от координат  $x$  и  $y$  в виде суммы  $N$  коэффициентов отражения отдельных ЭИ:

$$\rho^{3Г}(x, y) = \sum_{i=1}^N \rho_i^{3И}(x, y), \quad (1)$$

Коэффициент отражения  $i$ -го ЭИ равен:

$$\rho_i^{ЭИ}(x, y) = f_i^{ЭИ}(x, y) \exp\left\{ikh \cos\left[2\pi\left(v_{xi}^{0n}x + v_{yi}^{0n}y\right)\right]\right\}; \quad (2)$$

где  $v_{xi}^{0n}, v_{yi}^{0n}$  – проекции опорной частоты на координатные оси;  $h$  – глубина рельефа ЗГ;  $k = 2\pi/\lambda$  – волновое число падающего монохроматического излучения;  $f_i^{ЭИ}(x, y)$  – функция  $i$ -го ЭИ, равная единице, если точка  $(x, y)$  на плоскости ЗГ принадлежит данному ЭИ, и равная нулю в противном случае.

$$f_i^{ЭИ}(x, y) = \begin{cases} 1, & (x, y) \in \text{ЭИ}; \\ 0, & (x, y) \notin \text{ЭИ}. \end{cases} \quad (3)$$

Далее, взяв прямое Фурье-преобразование, можно получить ПЧС ЗГ [1]

$$\tilde{\rho}^{ЗГ}(v_x, v_y) = \sum_{i=1}^N \tilde{f}_i^{ЭИ}(v_x, v_y) \otimes \tilde{F}\left[\exp\left\{ikh \cos\left[2\pi\left(v_{xi}^{0n}x + v_{yi}^{0n}y\right)\right]\right\}\right]; \quad (4)$$

Таким образом, ПЧС ЗГ представляет собой сумму Фурье-образов экспоненты  $\exp\left\{ikh \cos\left[2\pi\left(v_{xi}^{0n}x + v_{yi}^{0n}y\right)\right]\right\}$ ,

свёрнутых с Фурье-образами функций  $f_i^{ЭИ}(x, y)$  соответствующих ЭИ. Разложив данную экспоненту в ряд Бесселя, получим:

$$\begin{aligned} \tilde{F}\left[\exp\left\{ikh \cos\left[2\pi\left(v_{xi}^{0n}x + v_{yi}^{0n}y\right)\right]\right\}\right] &= J_0(kh)\delta(v_x, v_y) + \\ &+ iJ_1(kh)\left[\delta(v_x + v_{xi}^{0n}, v_y + v_{yi}^{0n}) + \delta(v_x - v_{xi}^{0n}, v_y - v_{yi}^{0n})\right] + \\ &- J_2(kh)\left[\delta(v_x + 2v_{xi}^{0n}, v_y + 2v_{yi}^{0n}) + \delta(v_x - 2v_{xi}^{0n}, v_y - 2v_{yi}^{0n})\right] + \\ &+ \sum_{n=3}^{\infty} i^n J_n(kh)\left[\delta(v_x + nv_{xi}^{0n}, v_y + nv_{yi}^{0n}) + \delta(v_x - nv_{xi}^{0n}, v_y - nv_{yi}^{0n})\right]. \end{aligned} \quad (5)$$

где  $A = kh \approx 2$  для  $\lambda = 555$  нм.

$$\alpha = \alpha_i(x, y) = 2\pi\left(v_{xi}^{0n}x + v_{yi}^{0n}y\right)$$

$J_n(A)$  – функция Бесселя 1-го рода  $n$ -го порядка. На рис. 2 показаны графики функций Бесселя 0–3 порядка.

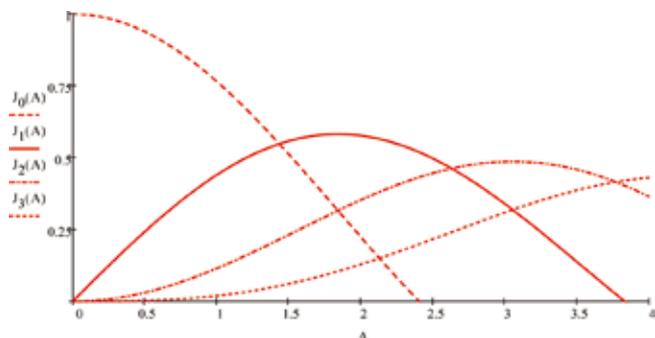


Рис. 2. Графики функций Бесселя 1-го рода 0–3 порядка

Спектр  $i$ -ой экспоненциальной функции состоит из  $\delta$ -функций на нулевой частоте, опорной частоте, удвоен-

ной опорной частоте и т.д. с множителями в виде функций Бесселя. При этом вблизи длины волны  $\lambda = 555$  нм множитель при  $\delta$ -функции непосредственно на опорной частоте максимален и превосходит множители на других частотах, что показано на рис. 2. Для получения ПЧС  $i$ -го ЭИ необходимо свернуть этот спектр со спектром  $\tilde{f}_i^{ЭИ}(v_x, v_y)$  функции ЭИ.

Для того, чтобы описать спектр функции ЭИ, разобьём  $i$ -й элемент изображения на  $M$  квадратных пикселей размером  $a \times a$ , как показано на рис. 3, и рассмотрим функцию ЭИ как мультипликацию функций  $\text{rect}(x/a, y/a)$ .

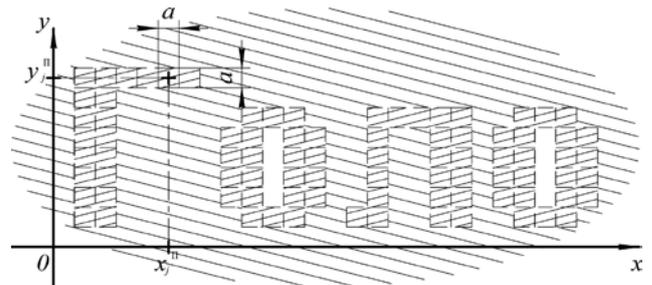


Рис. 3. Схема разбиения элемента изображения на пиксели. Функция ЭИ в виде суммы  $M$  пикселей

$$f_i^{ЭИ}(x, y) = \sum_{j=1}^M \text{rect}\left(\frac{x - x_j^n}{a}, \frac{y - y_j^n}{a}\right). \quad (6)$$

где  $(x_j^n, y_j^n)$  – координаты центра  $j$ -го пикселя. Тогда спектр функции ЭИ

$$\begin{aligned} \tilde{f}_i^{ЭИ}(v_x, v_y) &= \sum_{j=1}^M a^2 \text{sinc}(\pi a v_x, \pi a v_y) \exp\left[-i2\pi\left(x_j^n v_x + y_j^n v_y\right)\right] = \\ &= a^2 \text{sinc}\left[\pi a v_x, \pi a v_y\right] \sum_{j=1}^M \exp\left[-i2\pi\left(x_j^n v_x + y_j^n v_y\right)\right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь сумму экспонент  $\exp\left[-i2\pi\left(x_j^n v_x + y_j^n v_y\right)\right]$  можно представить как сумму единичных векторов на комплексной плоскости, таких, что угол  $j$ -го единичного вектора с осью действительных чисел равен  $-2\pi\left(x_j^n v_x + y_j^n v_y\right)$ . Таким образом, сумма экспонент по модулю всегда будет не превышать  $M$  и, в частности, будет равна  $M$  в нуле, а величина максимума пика пропорциональна площади  $Ma^2$  ЭИ.

Спектр самого ЭИ, сформированного опорной частотой

$$v_i^{0n} = \sqrt{\left(v_{xi}^{0n}\right)^2 + \left(v_{yi}^{0n}\right)^2},$$

будет равен свёртке выражений (7) и (5), т.е. в соответствии с (4), сумме спектров функций ЭИ на нулевой, опорной, удвоенной опорной, и т.д. частотах.

Ширина основного пика спектра функции ЭИ зависит от формы и размеров данного ЭИ, и при использовании источника монохроматического излучения ориентировочно колеблется в пределах от  $\Delta v_{\min}^{\text{Мнхр}} = 1/a_{\max}$  до  $\Delta v_{\max}^{\text{Мнхр}} = 1/a_{\min}$ . Для преобладающих (видимых глазу) элементов их ха-

ракторный размер  $a$  структуры колеблется от  $a_{\min} = 0,1$  мм до  $a_{\max} = 10$  мм. Таким образом, ширина пика ограничена сверху  $\Delta v_{\max}^{\text{Мнхр}} = 10$  л/мм.

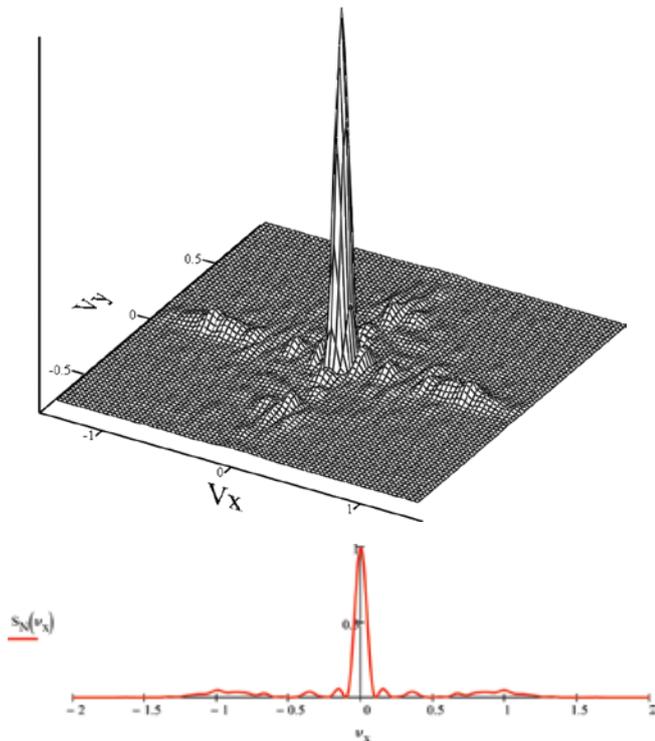


Рис. 4.5. Спектр мощности примерного ЭИ

Таким образом, ширина спектрального пика ЭИ в ПЧС ЗГ на 2–3 порядка меньше опорной частоты, которой этот ЭИ сформирован, что подтверждается проведённым компьютерным моделированием характерного спектра ЭИ. Характерный спектр ЭИ представлен на рис. 4, 5.

В ПЧС ЗГ на нулевой частоте складываются спектральные пики всех ЭИ, что затрудняет идентификацию ЗГ по частотам, ниже опорных (менее  $v_{\min}^{\text{On}}$ ). На частотах, выше опорных (более  $v_{\max}^{\text{On}}$ ), форма спектральных пиков на удвоенных, утроенных и т.д. опорных частотах не отличается от формы пиков непосредственно на опорных частотах. Отличие заключается только в амплитудном множителе – функции Бесселя соответствующего порядка (причём  $J_n(A) < J_1(A)$  для всех  $n \geq 2$ ), поэтому высокие частоты являются избыточными для идентификации ЗГ.

Кроме того, поскольку в технологии dot-matrix всегда выполняется условие  $v_{\max}^{\text{On}} < 2v_{\min}^{\text{On}}$ , то спектральные пики на удвоенных опорных частотах не попадают в интервал частот от  $v_{\min}^{\text{On}}$  до  $v_{\max}^{\text{On}}$ . Таким образом, для идентификации ЗГ достаточно рассматривать ПЧС ЗГ в диапазоне частот от  $v_{\min}^{\text{On}}$  до  $v_{\max}^{\text{On}}$ , на котором будут располагаться спектральные пики всех ЭИ на их опорных частотах. Иначе говоря, необходимой частью процесса спектрального анализа ЗГ является режектирование низких (менее  $v_{\min}^{\text{On}}$ ) и высоких (выше  $v_{\max}^{\text{On}}$ ) пространственных частот.

## 1.2. Оценка размытия пространственно-частотного спектра элементарного изображения при квазимонохроматическом (лазерном) и немонохроматическом (светодиодном) освещении

В случае использования светодиодов в качестве источника излучения нормированный спектр мощности  $S^{3Г}(v_x, v_y) = |\tilde{\rho}^{3Г}(v_x, v_y)|^2$  приобретает значительное размытие из-за немонохроматичности светодиодов. Оценим величину размытия спектра голограммы как уширение центрального пика спектра функции ЭИ при использовании светодиода, излучающего в полосе длин волн  $\lambda = 650 \pm 20$  нм, которая является характерной для многих светодиодов. Также сравним полученные данные с размытием спектра голограммы при использовании лазерного светодиода, излучающего в полосе длин волн  $\lambda = 650 \pm 1$  нм.

Поскольку координата  $x_f$  в частотной плоскости Фурье-объектива линейно зависит от частоты, длины волны и фокусного расстояния объектива  $x_f = f'\lambda v_x$ , то в случае немонохроматического излучения, если принимать последнее в виде бесконечной суммы когерентных световых волн на длинах волн от  $\lambda - \Delta\lambda/2$  до  $\lambda + \Delta\lambda/2$ , не когерентных друг относительно друга, то процесс построения немонохроматического спектра можно описать как непрерывную сумму по интенсивности монохроматических спектров. В таком случае из-за немонохроматичности излучения спектр приобретает радиальное уширение  $\Delta v_f = f'\nu\Delta\lambda$ , пропорциональное полосе длин волн источника излучения. В частотной форме уширение выглядит как

$$\Delta v = \Delta v_r = \frac{\nu\Delta\lambda}{\lambda}. \quad (8)$$

Видно, что уширение спектра происходит пропорционально частоте. Подставив в (8) граничные частоты 900 и 1600 л/мм и принимая за источник излучения светодиод с  $\lambda = 650$  нм и  $\Delta\lambda = 40$  нм, получим

$$\Delta v^{\nu_{\min}} = \frac{900 \cdot 40}{650} \approx 60 \text{ л/мм},$$

$$\Delta v^{\nu_{\max}} = \frac{1600 \cdot 40}{650} \approx 100 \text{ л/мм}.$$

Эти данные, а также уширение спектра при использовании лазерного светодиода, отображены на рис. 6 и 7.

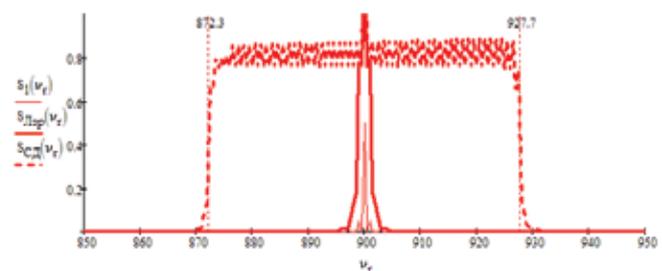


Рис. 6. Спектр примерного ЭИ на опорной частоте  $\nu^{\text{On}} = 900$  л/мм при строго монохроматическом освещении и размытие спектра при лазерном ( $\Delta\lambda = 2$  нм) и светодиодном освещении ( $\Delta\lambda = 40$  нм)

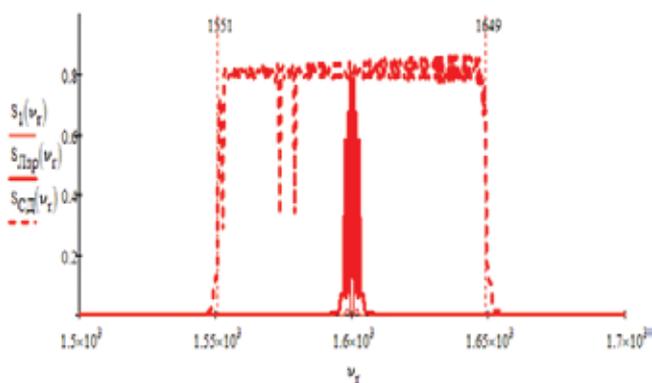


Рис. 7. Спектр примерного ЗИ на опорной частоте  $\nu^{оп} = 1600$  л/мм при строго монохроматическом освещении и размытие спектра при лазерном ( $\Delta\lambda = 2$  нм) и светодиодном освещении ( $\Delta\lambda = 40$  нм)

Это означает, что оптимальным радиальным размером дискретизации ПЧС для оптико-электронного спектроанализатора со светодиодным источником света является

$$\Delta\nu = \frac{\nu \Delta\lambda}{\lambda} \quad (9)$$

Поскольку радиальный  $\Delta\nu$  размер области пропорционален радиусу  $\nu$ , то для того, чтобы области расчёта интегральных параметров имели приблизительно квадратную форму, достаточно взять угловой размер  $\Delta\varphi$ , равный

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta\nu}{\nu} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad (10)$$

Для светодиодного источника он составит

$$\Delta\varphi = \frac{40}{650} = 0,062 \text{ рад.} = 3,6^\circ$$

Задавшись данными размерами  $\Delta\nu$  и  $\Delta\varphi$ , можно оценить количество областей дискретизации ПЧС. Количество интервалов  $\Delta\nu$  от 900 до 1600 л/мм составит  $M = 10$ . Количество интервалов  $\Delta\varphi$  от 0 до  $\pi$  составит  $N = 50$ . Таким образом, спектр можно охарактеризовать массивом из 500 отсчётов или интегральных параметров, о которых будет рассказано далее.

## 2. Характеристики пространственно-частотного спектра защитной голограммы

### 2.1. Интегральные характеристики пространственно-частотного спектра защитной голограммы

Рассмотрим ПЧС ЗГ в ограниченном секторе по частоте от  $\nu_{min}$  до  $\nu_{max}$ , по углу – от  $\varphi_{min} = 0$  до  $\varphi_{max} = \pi$  (т.е. в частотной полуплоскости в силу осевой симметрии ПЧС). Размеры интервалов разбиения ПЧС определим через  $\Delta\nu = \Delta\nu(\nu)$  и  $\Delta\varphi$  в соответствии с (9) и (10). Обозначим количество интервалов разбиения по частоте как  $N_\nu$ , по углу – как  $N_\varphi = \pi / \Delta\varphi$ . Тогда ПЧС ЗГ можно описать с помощью ряда интегральных параметров [5], из которых наиболее информативными являются секторный интегральный параметр и средний угол.

Введём следующие интегральные параметры, описывающие структуру ПЧС ЗГ: интегральный частотный параметр, интегральный угловой параметр, секторный интегральный параметр, а также средняя частота, средний угол на данной частоте и параметр момента инерции.

Секторный интегральный параметр  $D_{i,j}$  равен величине нормированного интеграла от спектра мощности по сектору частотной полуплоскости от  $\nu_i - \Delta\nu/2$  до  $\nu_i + \Delta\nu/2$  и от  $\varphi_j - \Delta\varphi/2$  до  $\varphi_j + \Delta\varphi/2$  (в пересечении угла  $\varphi_j$  и полукольца  $\nu_{r,i}$ ) и отображает количество энергии ПЧС в квадратном секторе:

$$D_{i,j} = \frac{\int_{\varphi_j - \frac{\Delta\varphi}{2}}^{\varphi_j + \frac{\Delta\varphi}{2}} \int_{\nu_i - \frac{\Delta\nu}{2}}^{\nu_i + \frac{\Delta\nu}{2}} S(\nu, \varphi) \nu d\nu d\varphi}{\int_0^\pi \int_{\nu_{min}}^{\nu_{max}} S(\nu, \varphi) \nu d\nu d\varphi} \quad (11)$$

где  $S(\nu, \varphi) = |\tilde{\rho}^{3Г}(\nu, \varphi)|^2$  – спектр мощности,

$$\nu_i = \nu_{min} + \left(i - \frac{1}{2}\right) \Delta\nu(\nu_i), \quad i = 1 \dots N_\nu.$$

$$\varphi_j = \left(j - \frac{1}{2}\right) \Delta\varphi, \quad j = 1 \dots N_\varphi.$$

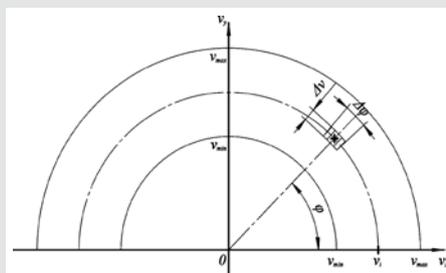


Рис. 8. Область интегрирования секторного параметра

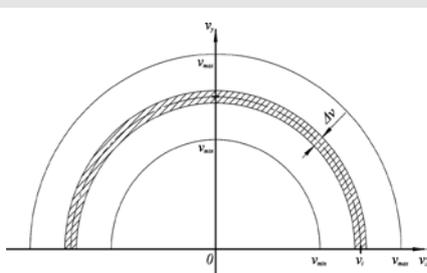


Рис. 9. Область интегрирования частотного параметра

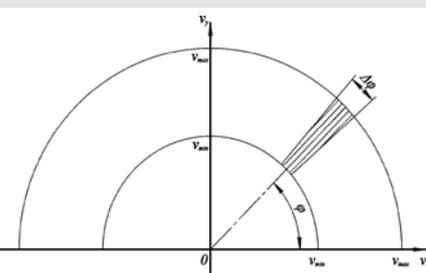


Рис. 10. Область интегрирования углового параметра

Аналогичным образом определяются интегральный частотный параметр  $J_i^v$ , область интегрирования которого показана на рис. 9, и интегральный угловой параметр  $J_j^\varphi$ , область интегрирования которого показана на рис. 10.

Средний угол

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{\sum_{j=1}^M J_j^\varphi \varphi_j}{N}. \quad (12)$$

Эти параметры позволят численно корректировать возможное несогласование ориентаций анализируемой и эталонной ЗГ в оптической схеме оптико-электронного спектроанализатора.

Таким образом, ПЧС любой ЗГ можно охарактеризовать массивом секторных интегральных параметров  $D = \{D_{ij}\}_{N_v \times N_\varphi}$  и средним углом  $\varphi_{\text{ср}}$ , а также средними параметрами. Для задачи описания ПЧС ЗГ достаточным может быть массив интегральных секторных параметров  $\{D_{ij}\}_{N_v \times N_\varphi}$  для всех  $i = 1 \dots N_v$  и  $j = 1 \dots N_\varphi$ .

$$D = \begin{bmatrix} D_{1,1} & D_{1,2} \dots & D_{1,N_\varphi} \\ \vdots & & \\ D_{N_v,1} & D_{N_v,2} \dots & D_{N_v,N_\varphi} \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Данный массив представляет собой дискретизированный ПЧС матрицей  $N_v \times N_\varphi$ . При достаточно малых  $\Delta v$  и  $\Delta \varphi$  функцию дискретизации производит непосредственно матричный приёмник излучения.

## 2.2. Точечные характеристики пространственно-частотного спектра защитной голограммы

Поскольку зачастую в ЗГ присутствует достаточно ограниченное число пространственных частот, гораздо меньшее по сравнению с величиной  $N_v \times N_\varphi$ , то ПЧС ЗГ можно описать также с помощью выборочного списка координат спектральных пиков [4] – точечных параметров. Процесс данного описания заключается в поиске остроконечных пиков в ПЧС, определении их координат  $(v_i, \varphi_i)$  и составлении списка данных координат. Под остроконечным спектральным пиком понималось наличие чётко выраженного локального максимума в ПЧС с высоким контрастом в окрестности малого радиуса.

Для определения пиков в ПЧС ЗГ был разработан алгоритм, основными этапами которого являются:

- 1) исключение низко- и высокочастотной частей ПЧС из зоны поиска пиков;
- 2) пороговая фильтрация шумов;
- 3) вычисление производной для каждой точки ПЧС из зоны поиска пиков;
- 4) определение, является или не является каждая точка в ПЧС точкой локального максимума по поведению производной в окрестности этой точки;

5) определение, являются ли найденные локальные максимумы остроконечными пиками.

Для вычисления значения производной в каждой точке ПЧС в алгоритме используется разностная схема. Производная вычисляется по четырёхточечной симметричной схеме.

$$f'(k) = \frac{1}{12} [f(k-2) - 8f(k-1) + 8f(k+1) - f(k+2)].$$

Проверку на локальный максимум ПЧС будем осуществлять по поведению спектра мощности в направлении обеих координат  $v_x$  и  $v_y$ . Поэтому для каждой точки частотной полуплоскости с координатами  $(v_x, v_y)$  нужно рассчитать значение двух производных в спектре мощности  $S'_x(v_x, v_y)$  и  $S'_y(v_x, v_y)$ .

Искомые пики в спектре мощности должны являться локальными максимумами, то есть первая производная функции при переходе через эту точку должна менять знак. При этом она будет максимумом, только если при переходе через неё слева направо или сверху вниз производная функции будет изменять знак с положительного на отрицательный.

Проверка условия остроконечности для найденных точек локальных максимумов в зоне поиска пиков спектра мощности осуществляется вычислением соотношения между значением спектра мощности в данной точке и средней величиной в окрестности  $n \times n$  точек (например, для  $n = 3$ ). Данное отношение проверяется на превышение порогового значения.

Таким образом, формируется список координат остроконечных пиков спектра мощности, характеризующий данную ЗГ

$$L = \begin{bmatrix} v_1, \varphi_1 \\ v_2, \varphi_2 \\ v_3, \varphi_3 \\ \vdots \\ v_N, \varphi_N \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Алгоритм сравнения данной ЗГ и эталонной ЗГ может заключаться в поиске пересечения между списками пиков спектров мощности данной и эталонной ЗГ. В таком случае количественной оценкой схожести ПЧС данной и эталонной ЗГ является отношение числа общих в двух списках пиков к числу пиков в наибольшем из двух списков, характеризующих данную и эталонную ЗГ.

## 2.3. Комбинированные характеристики пространственно-частотного спектра защитной голограммы

Интегральные характеристики отображают дифракционную эффективность голограммы на различных интервалах пространственных частот и ориентаций дифракционных решёток, т.е. интенсивности различных цветов изображения, записанного на ЗГ.

В свою очередь, точечные характеристики отображают набор пространственных частот, входящих в ПЧС ЗГ, и их

ориентации, т.е. состав цветов изображения, записанного на ЗГ, и углов наблюдения этих цветов.

Для понижения вероятности ложной идентификации при сравнении анализируемой ЗГ с эталонной, предлагается комбинировать точечные и интегральные характеристики. Пусть ПЧС ЗГ описывается списком координат  $(v_i, \varphi_i)$  остроконечных пиков спектра мощности ЗГ и дифференциальных параметров ПЧС ЗГ, вычисленных в данных координатах

$$D_i = \frac{\int_{\varphi_i - \frac{\Delta\varphi}{2}}^{\varphi_i + \frac{\Delta\varphi}{2}} \int_{v_i - \frac{\Delta v}{2}}^{v_i + \frac{\Delta v}{2}} S(v, \varphi) v dv d\varphi}{\int_0^{\pi} \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} S(v, \varphi) v dv d\varphi}. \quad (15)$$

Таким образом, список параметров  $L_D = \{v_i, \varphi_i, D_i\}_M$ , характеризующих ПЧС анализируемой ЗГ, имеет вид

$$L_D = \begin{bmatrix} v_1, \varphi_1, D_1 \\ v_2, \varphi_2, D_2 \\ v_3, \varphi_3, D_3 \\ \vdots \\ v_M, \varphi_M, D_M \end{bmatrix}. \quad (16)$$

Такой список параметров вместе со средним углом  $\varphi_{cp}$  полностью отображает цветовой состав изображения, записанного на ЗГ, интенсивности этих цветов и углы наблюдения ЗГ.

### 3. Математическое описание процесса идентификации защитных голограмм

После построения математической модели ПЧС ЗГ встаёт задача построения математической модели процесса идентификации ЗГ с учётом наличия шумов. При этом можно рассмотреть два способа идентификации. Первый способ использует в качестве входных данных характеристик ПЧС эталонной и идентифицируемой ЗГ массив интегральных секторных параметров  $\{D_{ij}\}_{N_v, N_\varphi}$  и фактически производит корреляционный анализ. Второй способ использует массив комбинированных параметров  $\{v_i, \varphi_i, D_i\}_M$ .

#### 3.1. Корреляционный метод идентификации

Процесс идентификации ЗГ в общем случае должен решать задачу поиска и распознавания объекта – ЗГ среди множества объектов – в потоке анализируемых ЗГ методом сравнения с эталоном – с эталонной ЗГ. Процедура сравнения с эталоном осуществляется посредством сравнения множества признаков анализируемой и эталонной ЗГ.

Рассмотрим массив интегральных секторных параметров  $D = \{D_{ij}\}_{N_v, N_\varphi}$  как вектор в  $N_v \times N_\varphi$ -мерном простран-

стве  $L$  признаков ЗГ [2,3]. Идентифицирующее правило, позволяющее установить факт идентичности анализируемой ЗГ и эталонной, может быть представлено корреляционным функционалом. С учётом стационарной связи векторов эталонных признаков  $A = \{A_{ij}\}_{N_v, N_\varphi}$  и признаков анализируемой ЗГ  $D = \{D_{ij}\}_{N_v, N_\varphi}$  как реализаций случайных полей на плоскости  $(v, \varphi)$  или  $(x, y)$  с нормальным законом распределения, корреляционный функционал идентифицирующего правила может быть записан в интегральном виде

$$R(\xi, \eta) = \iint_{\Pi} d(x, y) a(x - \xi, y - \eta) dx dy. \quad (17)$$

Идентифицирующее правило будет состоять в максимизации функционала при различных значениях параметров пространственного смещения анализируемых объектов. Для эффективного применения корреляционного анализа необходимо определить идентичность оптических и геометрических свойств анализируемых объектов.

При анализе голограмм выполняется равенство такого геометрического свойства как масштаб объекта, а применение пространственно-частотного анализа позволяет нивелировать значение пространственного сдвига ЗГ вдоль координатных осей и рассчитывать корреляционный функционал в точке  $(\xi = 0, \eta = 0)$  (но остаётся влияние угла поворота голограмм). Равенство оптических свойств означает равенство среднего значения интенсивности в ПЧС ЗГ, что выполняется при достаточно низком значении шумов и равном значении дифракционной эффективности голограмм. Общая дифракционная эффективность со временем в связи с физическим износом падает, но структура ПЧС ЗГ остаётся постоянной, поэтому нормировка интегральных параметров

$$\sum_{i=1}^{N_v} \sum_{j=1}^{N_\varphi} D_{ij} = 1, \quad (18)$$

описывающих ПЧС ЗГ, позволяет нивелировать значение и оптических свойств анализируемых ЗГ. Корреляционный функционал с учётом нормировки принимает вид

$$R(\xi, \eta) = \frac{\iint_{\Pi} d(x, y) a(x - \xi, y - \eta) dx dy}{\sqrt{\iint_{\Pi} d^2(x, y) dx dy} \sqrt{\iint_{\Pi} a^2(x, y) dx dy}}. \quad (19)$$

С учётом (18), корреляционный функционал (19) применительно к векторам  $A$  и  $D$  признаков ПЧС ЗГ может быть вычислен заменой  $d(x, y)$  на  $\sqrt{D_{ij}}$  и  $a(x, y)$  на  $\sqrt{A_{ij}}$ . Таким образом, корреляционный функционал имеет вид

$$R(A, D) = \sum_{i=1}^{N_v} \sum_{j=1}^{N_\varphi} \sqrt{D_{ij} A_{ij}}, \quad (20)$$

т.е. представляет собой коэффициент корреляции, найденный в точке ( $\xi = 0, \eta = 0$ ).

Для идентификационного поиска угла поворота анализируемой голограммы относительно канонического положения эталонной голограммы, корреляционный функционал должен преобразоваться с учётом  $x = r \cos \varphi$  и  $y = r \sin \varphi$ , однако получение интегральных характеристик в полярных координатах ( $r, \varphi$ ) позволяет осуществить преобразование корреляционного функционала короче. Для этого достаточно рассчитать коэффициент корреляции

$$R(A, D, \varphi_k) = \sum_{i=1}^{N_y} \sum_{j=1}^{N_x} \sqrt{D_{ij} A_{i,j-k}} \quad (21)$$

где  $\varphi_k = \pi k / N_\varphi$  – угол поворота, кратный интервалу разбиения интегральной характеристики  $\Delta\varphi$ . Сканирование по номеру угла  $k$  с целью определения максимального коэффициента корреляции устраняет влияние рассогласования угла поворота анализируемой и эталонной ЗГ.

Решение об идентификации ЗГ принимается, если выполняется правило

$$R(A, D) > h, \quad (22)$$

где  $h$  – пороговый уровень, определяемый критерием обнаружения, например, Неймана-Пирсона.

Рассмотрев ПЧС ЗГ как оптический сигнал, регистрируемый в частотной плоскости Фурье-объектива, можно разделить его на три вида:

1) Полезный сигнал — спектральные пики ПЧС эталонной ЗГ.

2) Помеха — спектральные пики ПЧС исследуемой ЗГ, не входящие в ПЧС эталонной ЗГ.

3) Шум — случайное распределение освещённости в частотной плоскости.

В случае отсутствия шумов и помех, когда анализируемая голограмма идентична эталонной, коэффициент корреляции  $R(A, D) = 1$ . В ином крайнем случае, когда шумы отсутствуют, а ПЧС анализируемой и эталонной голограмм не содержат общих пиков,  $R(A, D) = 0$ .

В общем случае, при наличии шумов достоверность проведённого процесса идентификации можно описать с помощью таких величин, как вероятность правильного опознавания  $P_{по}$  и вероятность ложной тревоги  $P_{лт}$  [1,3].

$$P_{по} = 1 - Lp \left[ \frac{\ln h - 0,5\mu}{\sqrt{\mu}} \right]. \quad (23)$$

$$P_{лт} = 1 - Lp \left[ \frac{\ln h + 0,5\mu}{\sqrt{\mu}} \right]. \quad (24)$$

где  $h$  – задаваемый критерием обнаружения уровень коэффициента корреляции,  $\mu$  – отношение сигнал/шум, а  $Lp(z)$  – функция Лапласа или интеграл вероятности вида

$$Lp(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz.$$

Графики зависимости вероятностей правильного опознавания  $P_{по}$  и ложной тревоги  $P_{лт}$  от отношения сигнал/шум при значении коэффициента корреляции  $h = 0,9$  приведены на рис. 11, 12.

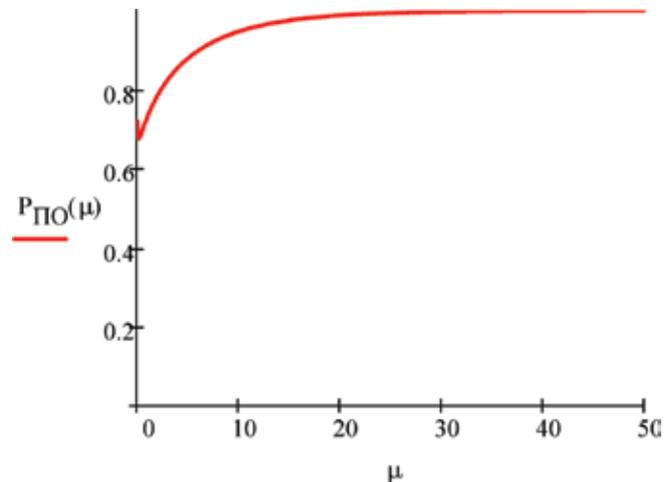


Рис. 11. Зависимость  $P_{по}$  от отношения сигнал/шум

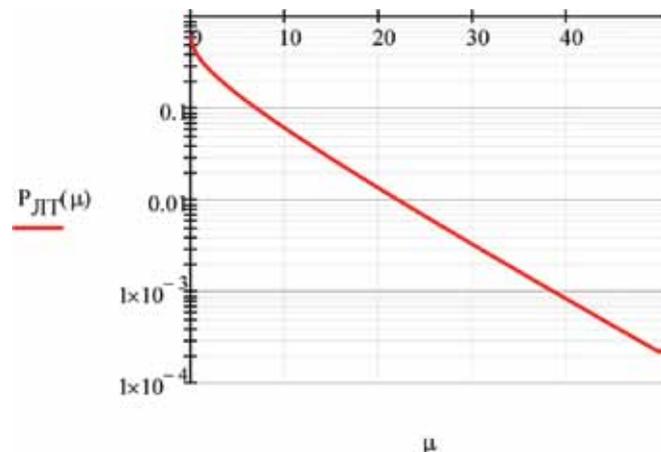


Рис. 12. Зависимость  $P_{лт}$  от отношения сигнал/шум

Таким образом, корреляционный метод опознавания позволяет производить идентификацию защитных голограмм по заданному критерию обнаружения с вероятностью правильного обнаружения  $P_{по}$ (23) и вероятностью ложной тревоги  $P_{лт}$ (24).

### 3.2. Метод идентификации по массиву комбинированных характеристик

Алгоритм сравнения произвольной ЗГ и эталонной ЗГ на основе комбинированных характеристик будет отличаться от алгоритма сравнения на основе точечных характеристик и дополнительным сравнением величин интегральных параметров. При сравнении опреде-

ляется число пиков, которые присутствуют и в списке  $L_A = \{v_i, \varphi_i, A_i\}_M$  эталонной ЗГ, и в списке  $L_D = \{v_i, \varphi_i, D_i\}_M$  анализируемой ЗГ. Сформированный таким образом список назовём списком совместимых пиков  $L_C = \{A_i, D_i\}_K$ , содержащий только интегральные параметры эталонной и анализируемой ЗГ, координаты пиков которых совпали. На основе такого списка можно упростить вычисление корреляционного функционала (20), поскольку средние  $N_v \times N_\varphi$  произведений все, кроме  $K$ , равны нулю.

$$R(A, D) = \sum_{j=1}^K \sqrt{D_j A_j}. \quad (25)$$

Таким образом, алгоритм состоит из следующих пунктов:

- поиск пиков из списка анализируемой ЗГ  $L_D$  в списке эталонной ЗГ  $L_A$  и составление списка совместных пиков  $L_C$ ;
- нахождение коэффициента корреляции по правилу (25);
- применение решения по идентификации ЗГ по правилу (22).

Метод идентификации по комбинированным параметрам предусматривает  $K$  действий вместо  $N_v \times N_\varphi$  и поэтому является более быстродействующим. Количество пиков  $K$  в ПЧС ЗГ может быть на два-четыре порядка меньше, чем число секторов  $N_v \times N_\varphi$  интегральных параметров. Однако сразу можно подчеркнуть недостаток данного метода: алгоритм может оказаться не чувствительным к низким и широким спектральным пикам, которые формируются мелкими элементами изображения. Математическое моделирование процесса идентификации ЗГ по комбинированным характеристикам показывает, что возможна верная идентификация ЗГ с вероятностями правильного опознавания и ложной тревоги, соответственно,  $P_{по} = 1,0$  и  $P_{лт} = 3 \cdot 10^{-7}$  при значении порога коэффициента корреляции  $h = 0,9$ .

#### 4. Оптическая схема оптико-электронного спектроанализатора для контроля подлинности защитных голограмм

В общем случае оптическая схема оптико-электронного спектроанализатора состоит из:

- источника лазерного излучения, работающего на длине волны  $\lambda = 405$  нм;
- оптической системы расширения и формирования лазерного пучка требуемой конфигурации (плоская или расходящаяся сферическая волна);
- исследуемой защитной голограммы;
- Фурье-объектива, восстанавливающего ПЧС ЗГ в задней фокальной плоскости;
- системы приёмника излучения, находящейся в частотной плоскости Фурье-объектива.

Необходимо использование лазера на длине волны  $\lambda = 405$  нм, потому что на максимальных опорных пространственных частотах ( $v_{r \max}^{0n} = 1600$  л/мм) в рамках ска-

лярной теории дифракции может дифрагировать лишь лазерное излучение с достаточно малой длиной волны. Угол дифракции первого порядка на максимальных опорных частотах при освещении голограммы нормально падающей волной с плоским фронтом составляет  $\alpha_{\max}$ .

$$\sin \alpha_{\max} = \lambda v_{r \max}^{0n}. \quad (26)$$

Поэтому длина волны должна быть

$$\lambda_{\min} < \frac{1}{v_{r \max}^{0n}} = \frac{1}{1600} = 625 \text{ нм}. \quad (27)$$

Для того чтобы угол дифракции был в разумных пределах (меньше  $90^\circ$ ), возьмём длину волны  $\lambda = 405$  нм. При этом наибольший угол дифракции для нормально падающего пучка составит

$$\sin \alpha_{\max} = \lambda v_{r \max}^{0n} = 0,405 \cdot 10^{-3} \cdot 1600 = 0,648.$$

$$\alpha_{\max} = 40,4^\circ.$$

Для формирования в пространстве нормально падающего и дифрагирующего пучков можно либо ввести угол падения  $\varepsilon$ , либо ввести в оптическую схему делительный куб или полупрозрачное зеркало. Однако это означает значительное увеличение расстояния между Фурье-объективом и исследуемой голограммой, что с учётом высоких углов дифракции многократно увеличивает как размеры всей оптической схемы, так и диаметр входного зрачка Фурье-объектива, что усложняет его изготовление, вызывает увеличение его фокусного расстояния и вторично увеличивает размеры оптической схемы.

В качестве решения данной задачи предлагается совместить в одном объективе функции объектива расширительной телескопической системы и Фурье-объектива. Данное решение, представленное на рис. 13, весьма эффективно, поскольку обе эти функции подразумевают, во-первых, диаметр объектива, превышающий диаметр голограммы  $D_{зг}$ ,

$$D_{зр} \geq D_{зг} + 2z \sin \alpha_{\max}, \quad (28)$$

где  $z$  – расстояние между передней главной плоскостью Фурье-объектива и голограммой, а во-вторых, значительное фокусное расстояние для Фурье-объектива из соображений реализуемости объектива и снижения ошибок Фурье-преобразования, а для объектива расширительной системы из соображений увеличения диаметра лазерного пучка до размеров голограммы  $D_{зг}$ . Вместе с этим, увеличение фокусного расстояния позволяет разнести в пространстве источник и приёмник излучения, находящихся, соответственно, в областях нулевого и первого порядка дифракции на частотной плоскости Фурье-объектива.

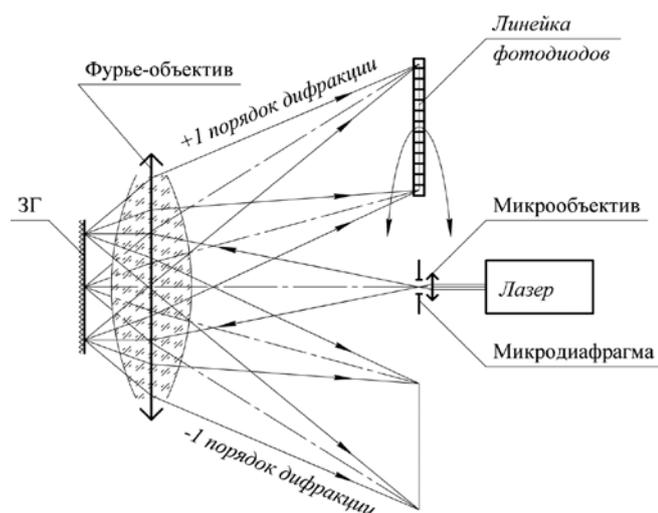


Рис. 13. Оптическая схема опико-электронного спектроанализатора

С учётом всего вышесказанного, фокусное расстояние для  $D_{ЗГ} = 25$  мм может составлять, например,

$$f' = 75 \text{ мм.}$$

В таком случае, максимальная опорная пространственная частота будет соответствовать в частотной плоскости координате

$$r_{\text{max}} = \lambda f' \nu_{\text{rmax}}^{\text{On}} = 0,405 \cdot 10^{-3} \cdot 75 \cdot 1600 = 48,6 \text{ мм.}$$

Следовательно, нам необходимо регистрировать распределение освещённости на площади  $97,2 \times 48,6$  мм. Это слишком большая область, чтобы использовать в качестве приёмника излучения ПЗС-матрицу или набор ПЗС-матриц. При этом координатная ширина спектрального пика будет соответствовать частотной ширине  $\nu_1 = 1$  л/мм и составлять порядка

$$r_1 = \lambda f' \nu_1 = 0,405 \cdot 10^{-3} \cdot 75 \cdot 1 = 30 \text{ мкм.}$$

Использование обыкновенных фотодиодных линеек осложняется тем, что нерегистрируемая область между соседними фотодиодами составляет обыкновенно 50 нм.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Мосягин Г.М., Немтинов В.Б., Лебедев Е.Н.* Теория опико-электронных систем. М.: Машиностроение, 1990, с. 132.
2. *Василенко Г.И., Цибульский Л.М.* Голографические распознающие устройства. М.: Радио и связь, 1985, с. 312.
3. *Василенко Г.И.* Голографическое опознавание образов. М.: Сов. Радио, 1977, с. 328.
4. *Спирidonov И.Н.* Особенности проектирования систем дешифрования медицинских изображений. Биомедицинская радиоэлектроника, 1999, №6, с. 26-38.

Поэтому рационально использовать специализированные кард-сканеры с разрешением 600 точек на дюйм и областью сканирования от  $90 \times 50$  мм до  $150 \times 100$  мм. Технически это устройство представляет собой сканер с фотодиодной линейкой высокого коэффициента заполнения. Изображение считывается посредством линейного сканирования фотодиодной линейкой. Для применения сканера в данной задаче достаточно совместить плоскость сканирования сканера с частотной плоскостью и отключить встроенную систему подсветки. При этом рационально осуществить угловое сканирование в частотной плоскости. В таком случае один элемент приёмника излучения имеет размер

$$\frac{25,4 \text{ мм/дюйм}}{600 \text{ т./дюйм}} = 42 \text{ мкм.}$$

Таким образом, размер элемента приёмника изображения по порядку величины соответствует ширине спектрального пика ПЧС ЗГ.

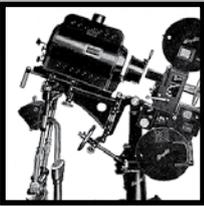
## Заключение

Предложенный метод анализа пространственно-частотного спектра (ПЧС) позволяет на основе объективных признаков, таких как интегральные и точечные характеристики ПЧС, производить анализ защитных голограмм (ЗГ) на подлинность методом сравнения с эталоном [2].

Исследования математической модели ПЧС ЗГ показывают, что ЗГ полностью характеризуется сектором ПЧС, заключённым в интервале пространственных частот от 900 до 1600 л/мм, имеющим ориентацию от 0 до  $\pi$ . В этом секторе ПЧС состоит из отдельных узких спектральных пиков. Это позволяет сопоставлять с каждой ЗГ массив интегральных и точечных характеристик [4].

С помощью предложенных характеристик возможно проводить идентификацию анализируемой ЗГ по базе данных эталонных ЗГ. Идентификация производится корреляционным методом опознавания [2, 3] по заданному критерию обнаружения, например, по критерию Байеса или Неймана-Пирсона.

Предложенная оптическая схема опико-электронного спектроанализатора позволяет реализовать метод ПЧС анализа для контроля подлинности защитных голограмм с минимальными размерами Фурье-объектива. ■



# СПЕКТРОКОЛОРИМЕТР для контроля качества проецируемого изображения

В.В. Антонов,  
О.В. Круглов,  
руководитель  
д.т.н., профессор  
В.Н. Кузьмин,  
ООО «НТП «ТКА»



## Аннотация

В статье рассмотрены требования, предъявляемые к качеству изображения, проецируемого на экран кинозала аналоговым или цифровым кинопроекторами; представлен новый прибор, разработанный специалистами фирмы ООО «НТП «ТКА» на основе спектрофотометрического метода для определения яркости и координат цвета киноэкрана. Проведено сравнение характеристик прибора с зарубежными аналогами.

**Ключевые слова:** спецификация цифрового кино (DCSS), спектроколориметр, координаты цвета, яркость.

SPETROCOLORIMETER FOR QUALITY CONTROL OF THE PROJECTED IMAGE

Vladimir Antonov, Oleg Kruglov,  
scientific leader Vladimir Kuzmin, Dr. (Tech.), Professor

## Abstract

The article describes the requirements for the quality of the image projected on the cinema screen, analog or digital cinema projector, presented a new device, developed by experts of the company TKA SCIENTIFIC INSTRUMENTS, based on the spectrophotometric method for determining the brightness and color coordinates of a movie screen, also foreseeing a comparison of characteristics device with foreign counterparts.

**Keywords:** specification of digital cinema (DCSS), spektrocolorimeter, coordinate colors, brightness.

## ■ Качество проецируемого изображения

В настоящее время, согласно [1], изображение, проецируемое на экран кинотеатра, должно соответствовать ряду обязательных технических требований. К этим показателям качества относятся:

- яркость экрана в его центральной части;
- отношение наименьшей яркости экрана в боковых точках к величине яркости в центре экрана (равномерность яркости по экрану);
- минимальное значение яркости в краевых точках экрана;
- разность значений яркости в краевых точках.

С развитием и широким распространением цифровых технологий в киноиндустрии появились и новые требования к оценке качества проецируемого изображения. Так, в ставшей привычной «плёночной» технологии информация о цвете хранится в химическом слое плёнки. В цифровой проекции цветовая информация хранится в цифровом виде, и цвет создаётся при взаимодействии этой информации с настройками оптической системы проектора. При этом даже проекционное оборудование одной фирмы может иметь некоторые различия в воспроизведении одинаковых цветов и оттенков. Вот почему

необходимо регулировать цветовые каналы в цифровом проекторе для обеспечения одинакового цветового восприятия у зрителя в любом кинотеатре. Американское объединение DCI (DIGITAL CINEMA INITIATIVES) в 2005 г. выпустило спецификацию цифрового кино (DCSS). В этом документе рассмотрены все основные требования, которым должен удовлетворять современный цифровой кинотеатр. На сегодняшний момент действует версия 1.2, выпущенная в 2008 г. Для получения качественного цифрового изображения, согласно DCSS v.1.2, необходимо контролировать следующие параметры экрана:

- яркость экрана в его центральной части;
- равномерность яркости по экрану;
- координаты белого цвета экрана в его центральной части;
- равномерность белого цвета по экрану;
- координаты чёрного цвета и оттенков серого в его центральной части;
- равномерность чёрного цвета и оттенков серого по экрану;
- точность цветопередачи.

На практике измерение этих параметров сводится, в основном, к измерениям яркости и цветовых координат

на различных участках экрана, зная которые настраивают оптическую систему проектора, пока не достигают желаемого значения. Так происходит согласование параметров цифрового проектора и экрана кинотеатра.

Таким образом, для правильной настройки и эксплуатации кинотеатров, в том числе и цифровых, необходимо иметь прибор, способный измерять яркость и координаты цвета в различных точках экрана. Для этих целей в ООО «НТП «ТКА» был разработан спектроколориметр «ТКА-ВД»/01 Laser (рис. 1). Этот прибор предназначен для контроля качества изображения, проецируемого на экран кинотеатра, и для установки и калибровки цифровых кинопроекторов в кинотеатрах.



Рис. 1. Внешний вид спектроколориметра «ТКА-ВД»/01 Laser

Конструктивно прибор состоит из двух функциональных блоков: оптоэлектронного блока и блока обработки сигнала, связанных между собой гибким многожильным кабелем. Оптоэлектронный блок можно закрепить на штативе с помощью фотометрической гайки (резьба на 1/4"). Наведение на измеряемый объект осуществляется лазерным прицелом, управление которым происходит в ручном режиме. Луч лазера смещён относительно оптической оси прибора влево на 2,54 см (1 дюйм).

Принцип действия прибора основан на измерении спектра излучения источника оптического излучения в видимой области (390÷750) нм с последующей математической обработкой результатов измерения с помощью микропроцессорного устройства.

Оптоэлектронный блок представляет собой полихроматор (рис. 2): входное оптическое излучение, формируемое объективом 1, разлагается в спектр на вогнутой дифракционной решётке 2 и фокусируется на диодной линейке 3, с которой снимается сигнал для последующей обработки и вычисления измеряемых параметров.

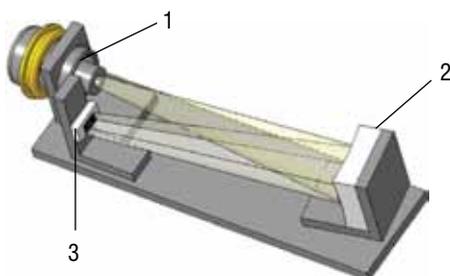


Рис. 2. Полихроматор: 1 – объектив; 2 – дифракционная решётка; 3 – диодная линейка

Входное устройство прибора выполнено в виде объектива без регулируемой фокусировки. Нерегулируемая фокусировка на некоторое постоянное расстояние повышает оперативность работы с прибором, так как исключается одна из рабочих операций. При этом не требуется вводить никаких поправок к градуировке, поскольку показания прибора пропорциональны яркости объекта независимо от расстояния.

Для яркомеров с нефокусируемым объективом угловой размер фотометрируемого поля зависит от расстояния до объекта. Если, однако, объект имеет угловые размеры не меньшие, чем угловые размеры этого действительного поля, и однороден по яркости, то измерения не зависят от расстояния до объекта. Рассмотрим на конкретном примере зависимость угловых размеров от расстояния до объекта [6].

В яркомере с объективом, сфокусированном на некотором расстоянии до объекта  $l_{\phi}$ , полевая диафрагма, ограничивающая поле фотометрирования, расположена в пространстве изображения на расстоянии  $l'_{\phi}$  от объектива, в плоскости, сопряжённой с плоскостью объекта (рис. 3). Если  $p$  – диаметр полевой диафрагмы, то

$$\omega_N = 2 \operatorname{arctg} \frac{p}{2l'_{\phi}}, \quad (1)$$

есть номинальный плоский угол (угловой размер) поля фотометрирования прибора, определяющий собой диаметр фотометрируемого поля (участка) объекта АВ. Для объекта в плоскости фокусировки действительный угол фотометрирования равен номинальному углу. При этом поле объектива с диаметром АВ =  $l_{\phi} \cdot \operatorname{tg} \omega_N$  есть одновременно входное окно оптической системы для всех объектов, расположенных на произвольных расстояниях от прибора; выходным окном является сама диафрагма.

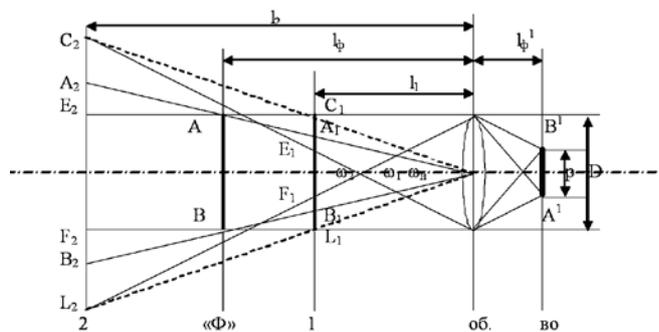


Рис. 3. Ограничение поля фотометрирования: об. – объектив; в.о. – выходное окно; «Ф» – плоскость постоянной фокусировки; 1 – плоскость «1»; 2 – плоскость «2»

Пусть объект 1 расположен на расстоянии  $l_1 < l_{\phi}$ . Будем называть размером фотометрируемого поля объекта тот наибольший его диаметр, в пределах которого свет от объекта, расположенного на данном расстоянии, ещё попадает в отверстие круглой полевой диафрагмы. Размер фотометрируемого поля объекта  $C_1L_1$  определяется диаметром АВ поля сфокусированного объекта, диаметром

объектива  $D$  и расстоянием  $l_\phi$ . Как видно из рисунка, угловой размер  $C_1L_1(\omega)$  превышает величину номинального угла фотометрирования  $\omega_N$ :

$$\omega_1 = 2 \operatorname{arctg} \left[ \frac{AB}{2l_\phi} + D \left( \frac{1}{2l_1} - \frac{1}{2l_\phi} \right) \right], \quad (2)$$

Для объекта 2, расположенного на расстоянии  $l_2 > l_\phi$ , угол  $\omega_2$  фотометрируемого поля также больше, чем  $\omega_N$ :

$$\omega_2 = 2 \operatorname{arctg} \left[ \frac{AB}{2l_\phi} + D \left( \frac{1}{2l_\phi} - \frac{1}{2l_2} \right) \right], \quad (3)$$

Ввиду малости углов  $\omega$  (обычно они не превышают 2–3 градусов), можно считать тангенсы их равными самим углам:

$$\left. \begin{aligned} \omega_N &= \frac{AB}{l_\phi}, \\ \omega_1 &= \omega_N + D \left( \frac{1}{l_\phi} - \frac{1}{l_1} \right), \\ \omega_2 &= \omega_N + D \left( \frac{1}{l_\phi} - \frac{1}{l_2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Так как  $l_1 < l_\phi < l_2$ , то  $\left( \frac{1}{l_\phi} - \frac{1}{l_1} \right) > 0$  и  $\left( \frac{1}{l_\phi} - \frac{1}{l_2} \right) > 0$ , и, следовательно, в общем виде можно написать:

$$\omega = \omega_N + D \left| \frac{1}{l} - \frac{1}{l_\phi} \right|. \quad (5)$$

Для объектов вне плоскости фокусировки действительный угол фотометрирования всегда больше номинального угла, причём это превышение возрастает пропорционально диаметру объектива и разности между расстоянием до объектива и расстоянием фокусировки, выраженной в диоптрийной мере.

Линейный размер фотометрируемого поля объекта  $d$  в функции расстояния  $l$  от объекта равен:

$$d(l) = \omega l = \omega_N l + D \left| l - \frac{l^2}{l_\phi} \right|. \quad (6)$$

В качестве приёмника оптического излучения (ПОИ) в спектроколориметре используется фотодиодная линейка (ФЛ). Выбор подобного типа ПОИ позволяет упростить конструкцию и повысить эксплуатационные характеристики прибора.

ФЛ имеют, по сравнению с ПЗС, более высокую линейность, а также и больший динамический диапазон. Для управления работой ФЛ достаточно подачи всего лишь двух управляющих сигналов, а всё остальное преобразование осуществляется за счёт внутренней структуры самой линейки. ФЛ создана на основе КМОП ИС техно-

логии, поэтому в каждом фоточувствительном элементе находится также активная схема усиления сигнала. Это позволяет сократить энергопотребление и повысить быстродействие, при этом повышается помехоустойчивость системы. Таким образом, ФЛ обладает рядом преимуществ по сравнению с ПЗС-устройствами: малое энергопотребление, большой динамический диапазон, простота в управлении, низкая стоимость.

Значительная часть излучения при прохождении через полихроматор отражается и рассеивается оптическими деталями. Поэтому пространство внутри полихроматора «заполнено» спектрально не разложенным или частично разложенным излучением. Часть рассеянного излучения при этом попадает на фоточувствительный элемент линейки.

Полный поток  $\Phi_n$ , регистрируемый элементом, можно представить в виде суммы:

$$\Phi_n = \Phi_{\Delta\lambda}(\lambda) + \Phi_p, \quad (7)$$

где:  $\Phi_{\Delta\lambda}(\lambda)$  – поток, определяемый функцией пропускания полихроматора и аппаратной функцией;  $\Phi_p$  – поток рассеянного (паразитного) излучения, который обычно пропорционален полному потоку излучения, входящему в полихроматор через входную щель.

$$\Phi_p \sim \iint L_\lambda(\lambda) ds d\omega d\lambda, \quad (8)$$

где:  $L_\lambda(\lambda)$  – спектральная яркость источника.

При работе в тех областях спектра, где спектральная яркость источника  $L(\lambda)$  мала, поток рассеянного излучения может быть соизмерим и даже больше полезного. В этих случаях точность фотометрических измерений снижается, достигая неприемлемых величин.

Для уменьшения потока рассеянного света  $\Phi_p$  перед входной щелью полихроматора можно установить светофильтр, пропускающий только исследуемую область спектра и «срезающий» ту область, которая в основном определяет рассеянный свет. В качестве такого фильтра была выбрана комбинация из двух фильтров: БС-8 (2,0 мм) и СЗС-21 (1,5 мм). Рабочая спектральная область при такой комбинации составила (380–780) нм. Однако введение в оптическую схему фильтров снизило содержание рассеянного излучения лишь до (2–3)%.

Оставшуюся часть рассеянного излучения традиционными способами исключить не удавалось. Было решено использовать путь его измерения с последующим вычитанием из измеренного суммарного сигнала, составляющим которого он являлся. Для этого оставлялись не задействованными в регистрации полезного сигнала несколько элементов фоточувствительной линейки (рис. 4). Рабочая коротковолновая область фоточувствительной линейки формировалась «отрезающим» фильтром БС-8, с ярко выраженным фронтом коэффициента пропускания  $t(\lambda)$ . Потому не составило труда расположить линейку таким образом, чтобы 2–3 элемента оказались расположенными вне рабочей области спектра.

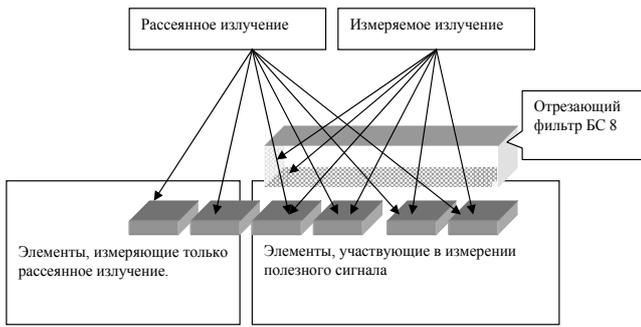


Рис. 4. Пояснение к расположению элементов фоточувствительной линейки для учёта рассеянного излучения

Сигналы, поступающие в процессор, обрабатывались соответствующим образом для вычленения паразитного излучения. В результате математической обработки сигналов фоточувствительной линейки и введения отсекающих светофильтров удалось уменьшить долю рассеянного излучения в спектре исследуемого источника до (0,5–1,0). Этого вполне достаточно для проведения цветовых измерений на уровне рабочих средств измерений.

«ТКА-ВД»/01 Laser позволяет измерять яркость (кд/м<sup>2</sup>, fL) и координаты цветности r, g и x, y экрана в международной колориметрической системе CIE RGB и CIE1931, соответственно. Точность измерений удовлетворяет требованиям спецификации DCSS v. 1.2 и составляет не более 10% для яркости и ±0,005 для координат цветности.

Спектроколориметр «ТКА-ВД»/01 Laser является портативным прибором, поэтому питание осуществляется от аккумуляторной батареи 8,4В (типоразмер «Крона»).

Прибор также может работать от сети переменного тока через блок питания, который при этом служит зарядным устройством для аккумуляторной батареи.

Данные измерений выводятся непосредственно на дисплей блока управления, навигация осуществляется вручную с помощью кнопок. Спектроколориметр «ТКА-ВД»/01 Laser имеет USB-разъём и может быть подключён к ПК для графического представления информации с помощью бесплатного ПО, работающего с платформами Microsoft Windows 95/98/NT/2000/XP/Vista (рис. 5). Существует англоязычная модификация прибора.

В настоящее время прибор прошёл сертификацию и выпускается с поверкой (калибровкой) в соответствии с методикой поверки, утверждённой ВНИИОФИ.

В табл. 1 представлены сравнительные характеристики прибора «ТКА-ВД»/01 Laser и приборов ведущих мировых фирм в области цветовых измерений. Рассмотрены только характеристики, необходимые для использования при инсталляции и калибровки цифровых кинопроекторов. Видно, что прибор «ТКА-ВД»/01 Laser может составить достойную конкуренцию зарубежным аналогам. Это простой, компактный и удобный в эксплуатации спектроколориметр по доступной цене.

**Заключение**

Разработанный в ООО «НТП «ТКА» спектроколориметр «ТКА-ВД»/01 Laser позволяет измерять такие параметры киноэкрана, как яркость и координаты цвета, с точностью, требуемой как для «плёночной», так и для цифровой технологий кино, в соответствии с ОСТ 19-155-2000 и спецификацией DCSS v. 1.2 DCI. ■

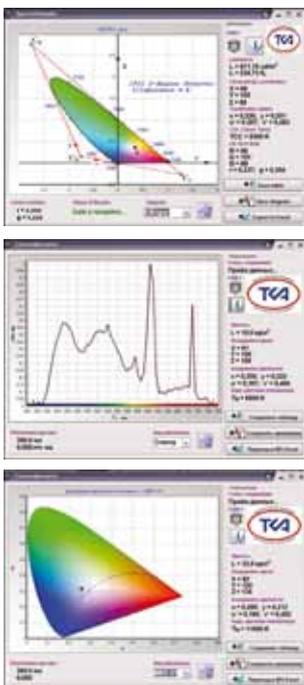


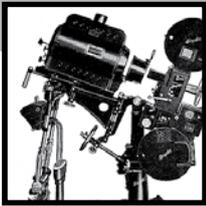
Рис. 5. Графическое представление измеряемых параметров

Табл. 1. Сравнительные характеристики спектроколориметров

	«ТКА-ВД»/01 Laser	Jeti Specbos 1201	Konica Minolta CA-2000	X-Rite Hubble
Изменяемые параметры	- яркость кд/м <sup>2</sup> (fL); - x, y (X, Y, Z); - r, g (R, G, B); - u', v'	- яркость кд/м <sup>2</sup> ; - x, y (X, Y, Z); - u', v'	- яркость кд/м <sup>2</sup> ; - x, y (X, Y, Z); - u', v'	- яркость кд/м <sup>2</sup> ; - x, y (X, Y, Z); - u', v'
Диапазон измерения яркости	10 ÷ 20 000 кд/м <sup>2</sup> (0,2 ÷ 5 000 fL)	2 ÷ 70 000 кд/м <sup>2</sup>	0,1 ÷ 100 000 кд/м <sup>2</sup>	0,03 ÷ 1370 кд/м <sup>2</sup>
Время измерения, max	4 с	60 с	98 с	1 с
Погрешность определения яркости	10%	2%	3%	5%
Погрешность определения координат	± 0,005	± 0,002	± 0,005	± 0,004

**ЛИТЕРАТУРА**

1. ОСТ 19-155-2000. Кинотеатры и киноустановки. Качество проецируемого изображения.
2. Digital Cinema Initiatives, LLC, Digital Cinema System Specification Version 1.2 March 07, 2008.
3. <http://www.jeti.com>
4. <http://www.konicaminolta.com>
5. <http://www.xrite.com>
6. Черниловская Г.З. Об истинном угле фотометрирования «точечного» яркомера. ТКиТ, 1971, №8, с. 23–27.



# ДЕНСИТОМЕТРЫ для измерения оптической плотности кинофотоматериалов

В.В. Антонов,  
О.В. Круглов,  
руководитель д.т.н.,  
профессор  
В.Н. Кузьмин,  
ООО «НТП «ТКА»



## Аннотация

В статье рассмотрены денситометры интегрального и спектрального типа, разработанные в «НТП «ТКА». Приведены принципиальные оптические схемы денситометров. Показаны преимущества и недостатки каждой из них.

**Ключевые слова:** денситометр, оптическая плотность, спектрофотометр.

DENSITOMETER FOR MEASUREMENT OPTICAL DENSITY OF FILM-PHOTOGRAPHIC MATERIALS

Vladimir Antonov, Oleg Kruglov,  
scientific leader Vladimir Kuzmin, Dr. (Tech.), Professor

## Abstract

The article describes the densitometers integral and spectral type, developed in the "TKA Scientific instruments". We give the fundamental optical schemes of densitometers, the advantages and disadvantages of each.

**Keywords:** densitometer, optical density, spectrophotometer.

## Введение

Основанием для разработки и организации мелкосерийного выпуска приборов, обеспечивающих денситометрический контроль плёночных материалов, стало отсутствие в последнее время подобных разработок в нашей стране.

Денситометры (от лат. *densitas* – плотность и метр) можно различить по принципу измерений оптической плотности на приборы интегрального и спектрального типа. В первом случае спектральные характеристики используемых в приборе элементов формируются цветными оптическими фильтрами. Во втором случае измеряется спектральный коэффициент пропускания исследуемого материала и производится последующая математическая обработка полученных величин.

## Денситометр интегрального типа

Первым денситометром, разработанным в 2005 году в «НТП «ТКА», стал денситометр интегрального типа «ТКА-КМ». Этот прибор имел конструкцию, отличную от выпускаемых приборов. Так, например, в большинстве случаев световой поток, прошедший через исследуемый образец, с помощью световолоконного жгута передавался на фотоприёмник. При этом происходили потери светового потока из-за ограниченного угла зрения и селективного пропускания световолокна. В приборе «ТКА-КМ»

весь поток попадал непосредственно на фотоприёмную площадку фотодиода, что повышало метрологические характеристики прибора. Кроме того, он стал первым в стране цифровым прибором, выполненным на современной электронной базе с использованием микропроцессора, что позволило выводить данные на ЭВМ.

Внешний вид денситометра интегрального типа «ТКА-КМ», разработанного в «НТП «ТКА», представлен на рис. 1.

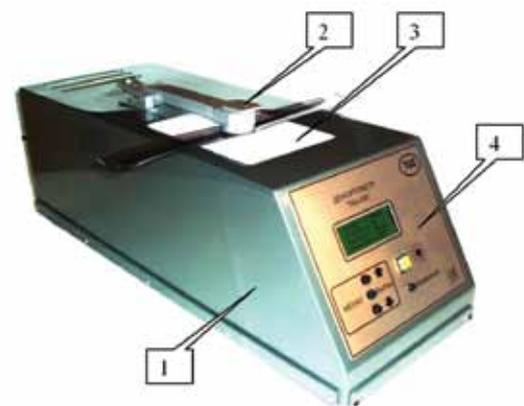


Рис. 1. Внешний вид денситометра «ТКА-КМ»: 1 – блок осветителя и управления; 2 – прижимное устройство с фотоприёмником; 3 – предметный столик; 4 – панель управления

Оптическая схема прибора (рис. 2) состоит из: источника света, системы линз, поворотного зеркала, блока со светофильтрами и диафрагмы:

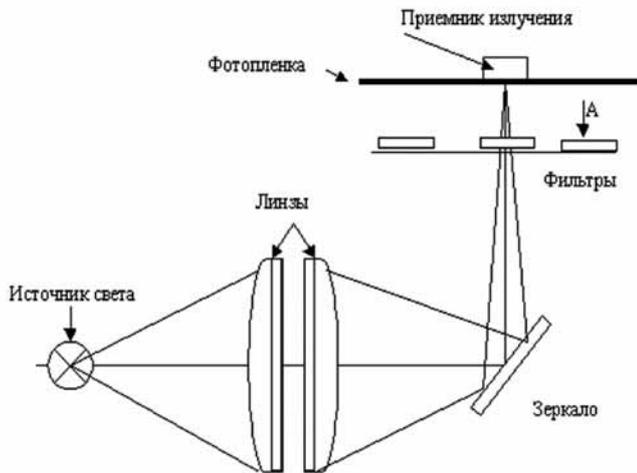


Рис. 2. Оптическая схема денситометра «ТКА-КМ»

В качестве источника излучения используется галогенная лампа. С помощью оптической системы излучение фокусируется в плоскости диафрагмы, за которой расположен измеряемый образец (фотографическая плёнка). Свет, прошедший через образец, регистрируется фотоприёмником, в качестве которого использован кремниевый фотодиод, подключённый в режиме генератора тока. Последующая электронная схема обеспечивает аналого-цифровое преобразование, цифровую фильтрацию и нормирование цифрового сигнала.

Таким образом, в приборе реализуется следующая геометрия измерения оптической плотности: освещение образца по нормали и регистрация всего излучения, в том числе и диффузного, за измеряемым образцом. Оптическая плотность  $D$ , измеряемая прибором, определяется как:

$$D = \log \frac{1}{\tau(\lambda)} \quad (1)$$

где  $\tau(\lambda)$  – коэффициент пропускания.

Требуемые по ГОСТ 9160 [1] спектральные чувствительности фотоприёмников: синего, зелёного, красного (статусы А и М) и визуального достигаются коррекцией спектральной чувствительности фотодиода с помощью комбинации цветных светофильтров. Измерения спектральной чувствительности фотоприёмника в комбинации со светофильтрами проводились на прецизионной аппаратуре с использованием двойной монохроматизации и равноточной спектрофотометрии. Ошибка коррекции спектральной чувствительности фотодиода под заданную кривую составила менее 2 %, и абсолютная погрешность измерения оптической плотности для различных образцов фотографических плёнок ме-

нее  $\pm 0,005V$  для каждой комбинации светофильтров с фотоприёмником.

Относительные спектральные чувствительности фотоприёмников для статусов А, М и визуального представлены на графиках рис. 3.

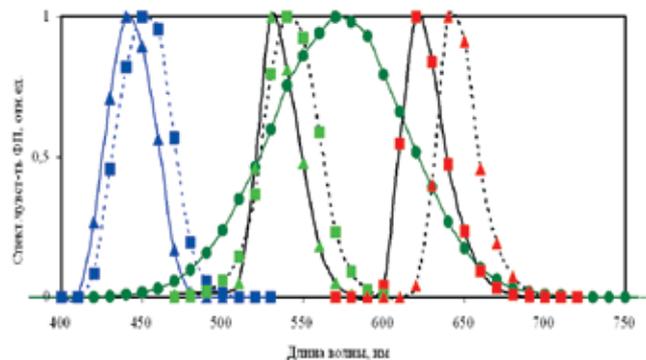


Рис. 3. Спектральные характеристики приёмников: визуального, статус А и статус М

При работе над созданием денситометра «ТКА-КМ» пришлось столкнуться с рядом проблем, влияющих на качество измерений. Проблемы были разные. Например, одна из них – это тривиальное отсутствие отечественных цветных светофильтров. В связи с этим коррекция спектральной чувствительности фотоприёмника к заданному виду статусов А и М (рис. 3) оказалась далеко не простой задачей. Система механической смены фильтров предъявила ряд повышенных требований по балансировке и юстировке конструкции. Кроме того, трудно решить и другие задачи, связанные с отличием спектральных характеристик от статусов А и М. Хотя рассмотренные проблемы решаемы, в новой разработке денситометра было предложено реализовать более гибкую и универсальную схему прибора спектрального типа.

### Денситометр спектрального типа

В 2009 году была разработана новая модель денситометра, в основу которого вошёл спектральный прибор спектроколориметр ТКА-ВД. В таком приборе определение интегральных характеристик плёночной продукции осуществляется через определение спектрального состава падающего и проходящего потоков излучения с последующим вычислением заданных величин. Для пояснения работы прибора, спектральное распределение потока излучения можно изобразить в виде столбиков для каждого участка спектра шириной  $\Delta\lambda$  и высотой, равной однородному потоку на этом участке спектра  $\Delta\Phi_e(\lambda)$  (рис. 4).

Таким образом, спектральная плотность потока излучения  $\Phi_{e,\lambda}$  равна:

$$\Phi_{e,\lambda} = \Delta\Phi_e / \Delta\lambda. \quad (2)$$

Для повышения точности определения спектрального распределения потока излучения следует стремиться к возможно минимальной ширине участка спектра  $\Delta\lambda$ . Принимая ширину этого участка стремящейся к нулю, получим в пределе:

$$\Phi_{e,\lambda} = \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta\Phi_e}{\Delta\lambda} \right) = \frac{\partial\Phi_e}{\partial\lambda} \quad (3)$$

где  $\partial\Phi_e$  – монохроматический поток излучения.

Интегрируя функцию спектральной плотности в заданном спектральном диапазоне, получим искомый поток излучения:

$$\Phi_e = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \Phi_{e,\lambda}(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

Зональная оптическая плотность вычисляется по формуле

$$D_i = -\lg \frac{\int_{\lambda_n}^{\lambda_m} \Phi_{\lambda}(\lambda) \tau_i(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_m}^{\lambda_n} \tau_i(\lambda) \Phi_{1\lambda}(\lambda) d\lambda} \quad (5)$$

где:  $\tau_i(\lambda)$  – спектральная характеристика светофильтра, обеспечивающего коррекцию под соответствующий статус;  $\Phi_{\lambda}(\lambda)$  – спектральная плотность потока, прошедшего через образец;  $\Phi_{1\lambda}(\lambda)$  – спектральная плотность потока, падающего на образец;  $\lambda_n, \lambda_m$  – пределы интегрирования, граница зон спектра.

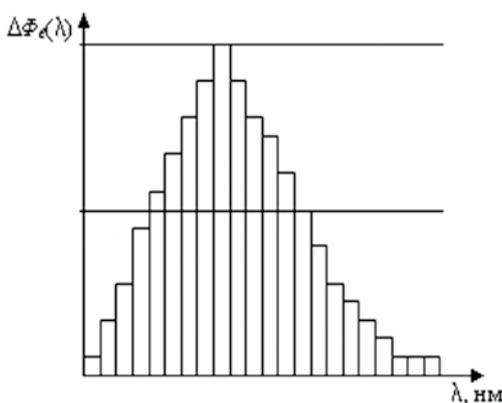


Рис. 4. Спектральное распределение потока излучения

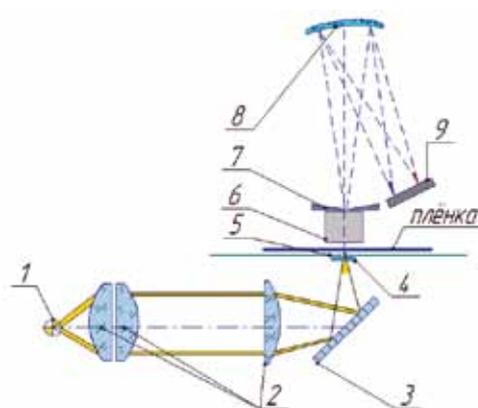


Рис. 5. Оптическая схема спектрального денситометра «ТКА-КМ1»: 1 – источник света; 2 – система линз; 3 – поворотное зеркало; 4 – фильтр; 5 – ограничивающая диафрагма; 6 – устройство для формирования пространственной характеристики; 7 – входная щель полихроматора; 8 – дифракционная решётка; 9 – диодная линейка



Рис. 6. Внешний вид денситометра «ТКА-КМ1»

Такой путь определения интегральных характеристик излучения через интегрирование функции спектральной плотности в видимой и ультрафиолетовой области спектра решает многие проблемы, присущие приборам интегрального типа. Таким образом, реализация рассмотренного принципа привела к созданию нового прибора на основе спектрофотометра – денситометра «ТКА-КМ1». В основе прибора лежит оптическая схема, показанная на рис. 5.

В качестве источника излучения используется галогенная лампа. С помощью представленной оптической системы излучение фокусируется в плоскость диафрагмы, закреплённой на предметном столике, за которой расположен измеряемый образец (фотографическая плёнка).

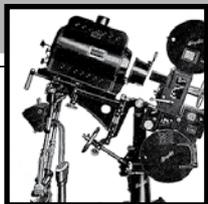
Всё излучение, прошедшее через образец, попадает в диспергирующее устройство. Устройство представляет собой полихроматор на дифракционной решётке с регистрацией разложенного излучения в спектральном диапазоне (380÷760) нм фотодиодной линейкой.

Знание спектрального состава исследуемого источника оптического излучения позволяет решить практически все колориметрические задачи, стоящие перед исследователем.

Современные методы обработки информации дают возможность смоделировать с достаточной точностью любые эффективные спектральные характеристики приёмников и источников, что существенно расширяет круг решаемых прибором задач. ■

### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 9160-91. Метод общесенситометрического испытания многослойных цветофотографических материалов.



# Применение полимерных микросфер в качестве твёрдых стабилизаторов эмульсионных систем

С.М. Левачев, МГУ им. Ломоносова,  
М.А. Сакварелидзе, д.х.н., А.Е. Харлов, МКВИ,  
И.А. Грицкова, П.Н. Чадаев, С.А. Макарова, МИТХТ им. М.В. Ломоносова

## Аннотация

Методом Ленгмюра изучены полимерные микросферы со структурой «ядро-оболочка», определены коллоидно-химические характеристики 2D плёнок, сформированных из твёрдых частиц. Показано, что природа функциональных групп в межфазном слое полимерных частиц определяет их эмульгирующую способность.

**Ключевые слова:** полимерные микросферы, эмульсия, эмульгирующая способность, твёрдые стабилизаторы, двумерное давление, электролит.

APPLICATION OF POLYMERIC MICRO SPHERES AS FIRM STABILIZERS EMULSION SYSTEMS

*S. Levachev, M. Sakvaleridze, A. Harlov, I. Griskova, P. Chadaev, S. Makarova*

## Abstract

*By Lengmuire method studied polymer microspheres with structure "nucleus - envelope", determined colloid - chemical characteristics of 2D films formed from solid particles. Achieved that the nature of functional groups of polymeric particles in interphase layers determine their emulsion ability.*

**Keywords:** Polymer (polymeric) micro sphere, emulsion, emulsion ability, solid stabilizers, bidirectional pressure, electrolyte.

## Введение

На рубеже XX и XXI веков возрос интерес к исследованию эмульсионных систем, стабилизированных твёрдыми частицами. На рынке кинофотоматериалов, пищевых продуктов, косметических изделий и лакокрасочных материалов появляются эмульсионные системы, стабилизированные смесями твёрдых эмульгаторов и ПАВ, или исключительно твёрдыми частицами микронного и субмикронного размера.

Цель работы – исследование коллоидно-химических свойств полимерных микросфер с различным строением поверхностного слоя для нахождения условий их использования в качестве твёрдых стабилизаторов эмульсионных систем.

Изучены модельные системы для дальнейшего использования полученных результатов и выводов в технологии производства и эксплуатации светочувствительных слоёв.

Совместно с сотрудниками кафедры «Химии и технологии высокомолекулярных соединений» МИТХТ им. М.В. Ломоносова были синтезированы полисти-

рольные, полистиролметакрилатные, полиглицидилметакрилатные полимерные микросферы методом затравочной полимеризации на полистирольных затравочных частицах.

Предварительные исследования устойчивости синтезированных полимерных суспензий при хранении и в растворах электролитов позволили выбрать для подробного изучения полистирольные суспензии, полученные затравочной полимеризацией различных мономеров, инициированной персульфатом калия, на полистирольных затравочных частицах со средним диаметром 1 мкм. Это:

- полистирольные суспензии, полученные затравочной полимеризацией стирола в отсутствие ПАВ;
- полистиролсульфонатные суспензии, полученные затравочной сополимеризацией стирола и стиролсульфоната натрия;
- полистиролметакриловые суспензии, полученные затравочной сополимеризацией стирола и метакриловой кислоты;

- полистирольные суспензии, полученные затравочной полимеризацией стирола в присутствии карбоксилсодержащего олигодиметилсилоксана.

Все полимерные суспензии характеризовались узким распределением частиц по размерам, были устойчивы в процессе полимеризации и при хранении, имели структуру «ядро-оболочка».

Изменить гидрофильность поверхности полимерных микросфер возможно путём адсорбции полимерных стабилизаторов на их поверхности. Это позволит получить дополнительный механизм управления коллоидно-химическими свойствами полимерных микросфер. Такой подход даёт возможность оптимизировать условия получения эмульсий I типа, стабилизированных полимерными микросферами.

В современной литературе не рассмотрены теоретические закономерности, позволяющие связать коллоидно-химические свойства индивидуальных полимерных микросфер с их эмульгирующей способностью. Именно в связи с этим исследования целесообразно было начать с синтеза полимерных микросфер, содержащих в поверхностном слое различные по природе функциональные группы.

Гидрофильно-липофильный баланс поверхности частиц было предложено характеризовать давлением коллапса 2D плёнки, сформированной из полистирольных микросфер на поверхности водной субфазы.

### Адсорбции БСА на поверхности полистирольных микросфер

Исследования были начаты с изучения адсорбции БСА (бычьего сывороточного альбумина) на поверхности полистирольных микросфер, отличающихся природой функциональных групп на межфазной границе. Данные, представленные на рис. 1, демонстрируют концентрационную зависимость адсорбции БСА.

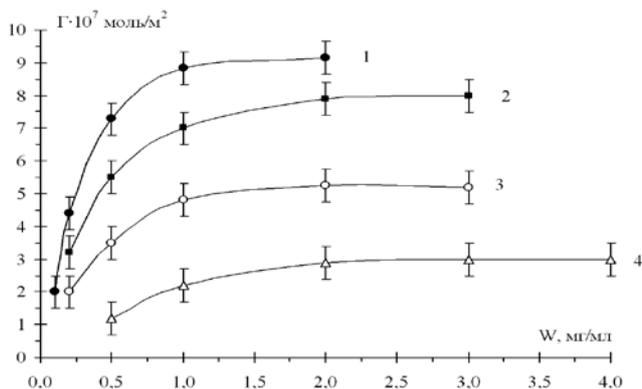


Рис. 1. Изотермы адсорбции БСА на полистирольных микросферах, содержащих на поверхности сульфогруппы – 1; сульфо- и сульфонатные группы – 2; карбоксильные группы – 3; карбоксилированный олигодиметилсилоксан – 4.  $T = 293\text{K}$ ,  $\text{pH} = 6,7$

Видно, что с увеличением гидрофильности поверхности полимерных частиц количество молекул БСА, адсорби-

руемых на их поверхности, уменьшается. С увеличением гидрофильности полимерной поверхности уменьшается и наклон начального участка изотермы, который позволяет судить о степени сродства между белком и полимерной поверхностью. Полученные результаты показали, что значение предельной адсорбции (плато изотермы) достигается при значениях меньших, чем необходимо для получения полностью заполненного монослоя БСА на полимерной поверхности. Таким образом, иммобилизация полярных групп в поверхность полимерных микросфер приводит к снижению их абсорбционной ёмкости. Только при адсорбции БСА на поверхность полимерных микросфер, полученных в отсутствие ПАВ, экспериментальное значение площади полимерной поверхности частиц, приходящейся на одну адсорбированную молекулу белка, практически совпадает с теоретическим значением площади проекции молекулы БСА. Это предполагает образование монослоя белка с упаковкой, плотность которой максимальна.

### Влияние электролитов на параметры изотерм двумерного давления 2D плёнок, сформированных из полистирольных микросфер

Метод Ленгмюра даёт возможность определять коллоидно-химические свойства объектов, из которых происходит формирование 2D плёнок. В работе изучено влияние изменения природы поверхности полимерных микросфер и присутствия электролита в водной фазе на гидрофильно-липофильный баланс поверхности полимерных микросфер.

На рис. 2(а) представлены изотермы двумерного давления 2D плёнок, сформированных из полистирольных микросфер образца 1 на границе водный раствор-воздух при различных концентрациях сульфата аммония в субфазе.

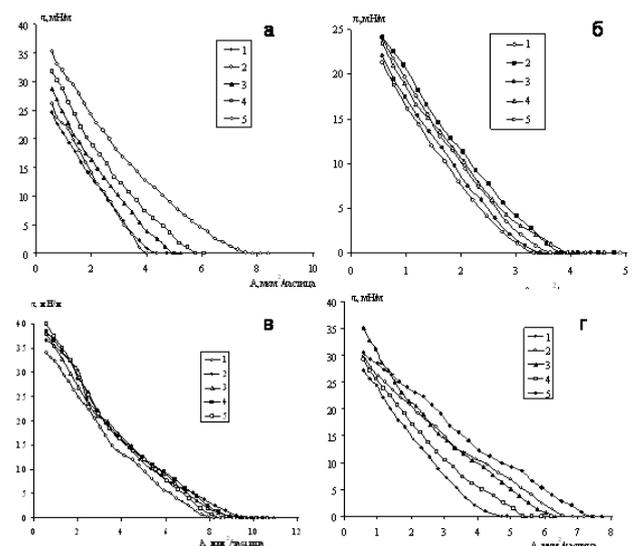


Рис. 2. Изотермы двумерного давления 2D плёнок, сформированных из полистирольных микросфер: а - образец 1, б - образец 2, в - образец 3, г - образец 4; при различной концентрации (моль/л) сульфата аммония в субфазе: 1 - 0; 2 - 0.1; 3 - 0.2; 4 - 0.3; 5 - 0.4.  $T = 293\text{K}$

При увеличении концентрации электролита наблюдается рост значения площади на частицу ( $A_0$ ), который сопровождается изменением двумерного давления. В случае образца 1 происходит монотонное возрастание ( $A_0$ ) при увеличении концентрации сульфата аммония.

Следует отметить, что изменение концентрации электролита способствует росту двумерного давления коллапса (примерно, на 40%). Наименьшее значение двумерного давления коллапса (24.6 мН/м) обнаружено в отсутствие сульфата аммония, а максимальное (35.4 мН/м) – при концентрации сульфата аммония, равной 0.4 М.

Увеличение концентрации электролита может влиять на строение двойного электрического слоя и гидратацию ионогенных групп на поверхности полимерных частиц. В сумме влияние этих факторов приводит к гидрофобизации поверхности полимерных микросфер, что отражается на значениях параметров изотерм двумерного давления.

Для образца 2, рис. 2(б), при увеличении концентрации электролита наблюдается экстремальный рост значения площади на частицу в начальной точке изотермы.

В результате изменения концентрации сульфата аммония наблюдается рост двумерного давления коллапса, примерно на 15%. Наименьшее значение  $\pi_{\text{кол}}$ , равное 21.3 мН/м, обнаружено при максимальной концентрации электролита, равной 0.4 М. В отсутствие сульфата аммония и при его минимальной концентрации, равной 0.1 М, обнаружено максимальное значение двумерного давления коллапса. Таким образом, можно говорить об экстремальной зависимости  $A_0$  и  $\pi_{\text{кол}}$  от концентрации электролита.

Такое поведение параметров изотерм двумерного давления 2D плёнок связано, вероятно, с процессом агрегации частиц в плёнке. Увеличение концентрации электролита приводит к гидрофобизации поверхности полистирольных микросфер в результате поджатия двойного электрического слоя. При этом возрастает вероятность коагуляции частиц в плёнке, что приводит к снижению числа полимерных микросфер на границе раздела фаз.

Различия в поведении рассматриваемых систем связаны с количеством сульфо- и сульфонатных групп на поверхности микросфер образцов 1 и 2.

На рис. 2(в) представлены изотермы двумерного давления 2D плёнок, сформированных из полистирольных микросфер образца 3. При увеличении концентрации сульфата аммония наблюдается монотонный рост значений площади на частицу. Для этого образца изотермы двумерного давления 2D плёнок имеют один перегиб или более. Данный вид кривых наблюдается только для образца 3. Такое поведение системы связано с появлением карбоксильных групп на поверхности микросфер. Двумерное давление коллапса изменяется приблизительно на 20%. Максимальное значение  $\pi_{\text{кол}}$  (40.0 мН/м) соответствует концентрации сульфата аммония, равной 0.4 М. Минимальное значение  $\pi_{\text{кол}}$ , равное 34.1 мН/м, обнаружено при отсутствии электролита.

На изотермах двумерного давления 2D плёнок, сформированных из полистирольных микросфер образца 4,

рис. 2(д), наблюдается рост значений площади на частицу в начальной точке изотермы при увеличении концентрации электролита. Двумерное давление коллапса также увеличивается. Наибольший рост составляет приблизительно 25%.

Адсорбция макромолекул БСА на полистирольных микросферах приводит к гидрофилизации их поверхности, что приводит к снижению значений параметров изотерм двумерного давления 2D плёнок, сформированных из полимерных частиц (рис. 3).

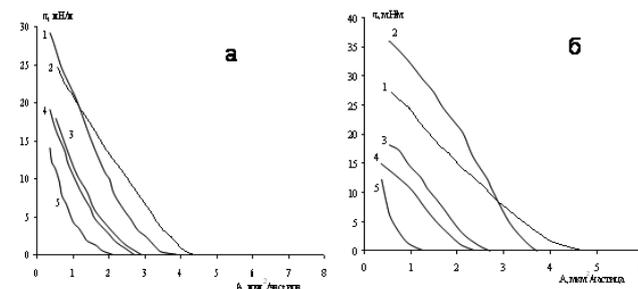


Рис. 3. Изотермы двумерного давления 2D плёнок, сформированных из полистирольных микросфер: а – образец 1, б – образец 4; кривые: 1 – исходные образцы на поверхности воды, 2-5 – полистирольные микросферы с адсорбированным БСА на поверхности 0,4М растворов: 2 –  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 3 –  $\text{MnSO}_4$ , 4 –  $\text{ZnSO}_4$ , 5 – на поверхности воды.  $T = 293\text{K}$

Резкое снижение значений  $\pi_{\text{кол}}$  и  $A_0$  связано не только с гидрофилизацией поверхности полистирольных микросфер, которая приводит к снижению поверхностно-активных свойств полимерных микросфер, но и десорбцией полимерных частиц из 2D плёнки в объём водной субфазы. Введение электролитов приводит к изменению вторичной структуры макромолекул БСА в адсорбционном слое, что приводит к гидрофобизации не только поверхности глобул макромолекул белка, но и поверхности полимерных микросфер. Наибольшее влияние оказывает введение в систему сульфата аммония. Причём, для образца 4, модифицированного олигодиметилсилоксаном, на поверхности микросфер которого адсорбция БСА минимальна, обнаружено самое значительное увеличение параметра  $\pi_{\text{кол}}$  ( $\pi_{\text{кол}} = 10,2$  мН/м) относительно изменения  $\pi_{\text{кол}}$  для образца 1 ( $\pi_{\text{кол}} = 4,6$  мН/м). Данный фактор свидетельствует о том, что важную роль в реализации поверхностно-активных свойств полимерных микросфер играет возможность образования структуры 2D плёнки, отличающейся минимальным количеством дефектов. Таким образом, при проведении затравочной полимеризации различных мономеров с целью получения полимерных микросфер, которые могут быть использованы как твёрдые стабилизаторы, необходимо учитывать как изменение гидрофильно-липофильных свойств индивидуальных полимерных частиц, так и возможность их коагуляции в более крупные агрегаты, находящиеся в 2D плёнке.

### Эмульгирующая способность водных дисперсий модифицированных полистирольных микросфер

Было проведено исследование влияния содержания функциональных групп различной природы и кремнийорганического ПАВ на поверхности полистирольных микросфер на эмульгирующую способность полимерной дисперсии. Определялся максимальный объём тетрадекана в системе, характеризующейся устойчивостью полученных эмульсий в течение более 30 суток, в зависимости от химического состава и концентрации электролита в водной фазе. Результаты, полученные при использовании образца 1 полистирольных микросфер при введении в систему сульфата аммония, приведены в табл. 1. Для других образцов полистирольных микросфер и используемых в работе сульфатов (аммония, цинка и марганца II) были зафиксированы аналогичные результаты. Полученные результаты показывают экстремальную зависимость устойчивости эмульсии от концентрации электролита, что, вероятно, связано с конкуренцией процессов гидрофобизации полимерной поверхности и коагуляции микросфер.

Табл. 1. Зависимость концентрации тетрадекана в эмульсии, стабилизированной полистирольными микросферами (образец 1) при различной концентрации  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в водной фазе.  $T = 295\text{K}$

Компоненты эмульсии, %	Доля эмульгированного углеводорода, %						
	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (%)	0,01	0,2	0,5	1,0	3,0	5,0
ПМС							
0,5	0	0	0	0	3±1	8±1	
1,0	0	0	0	5±1	7±1	10±2	
1,5	0	2±1	12±3	14±2	11±1	10±2	
2,0	0	5±1	9±2	18±1	15±3	8±1	
2,5	0	4±1	17±3	23±2	14±2	3±1	
3,0	3±1	8±2	18±3	25±2	11±2	5±1	

Достижение максимальной эмульгирующей способности связано с получением полимерных микросфер, поверхность которых характеризуется оптимальным гидрофильно-липофильным балансом, определяющим поверхностно-активные свойства полимерных частиц и обладающих агрегативной устойчивостью для того, чтобы обеспечить устойчивость водной дисперсии твёрдых частиц и бездефектную структуру 2D плёнки на межфазной границе.

На рис. 4 представлена фотография, показывающая внешний вид и фазовое состояние в системе водная дисперсия полистирольных микросфер и тетрадекана при различных концентрациях электролита. При низкой концентрации электролита (пробирка 1) эмульгирующая способность водной дисперсии полистирольных микросфер равна нулю. Увеличение концентрации электролита

приводит к повышению эмульгирующей способности полимерной дисперсии (пробирка 2). В оптимальных условиях по величине концентрации электролита, эмульгирующая способность образца полистирольных микросфер максимальна. В этих условиях происходит, практически, полная экстракция полистирольных микросфер из водной фазы в фазу образующейся эмульсии.



Рис. 4. Фотография систем водная дисперсия полистирольных микросфер-тетрадекан при различных концентрациях электролита, обеспечивающих различную устойчивость эмульсий первого типа

На рис. 5 представлены фотографии эмульсии тетрадекана в воде, стабилизированной полистирольными микросферами (образец 1). При оптимальной концентрации сульфата аммония, равной 1%, все полистирольные микросферы иммобилизованы на межфазной границе. Увеличение концентрации электролита приводит к агрегации полистирольных микросфер в водной фазе. Полученные агрегаты частиц в значительной степени локализируются в объёме седиментирующей эмульсии, а частично седиментируют в водной фазе, образуя осадок. Изменение числа частиц, способных формировать 2D плёнки на межфазной границе, приводит к снижению эмульгирующей способности водной дисперсии полимерных частиц.

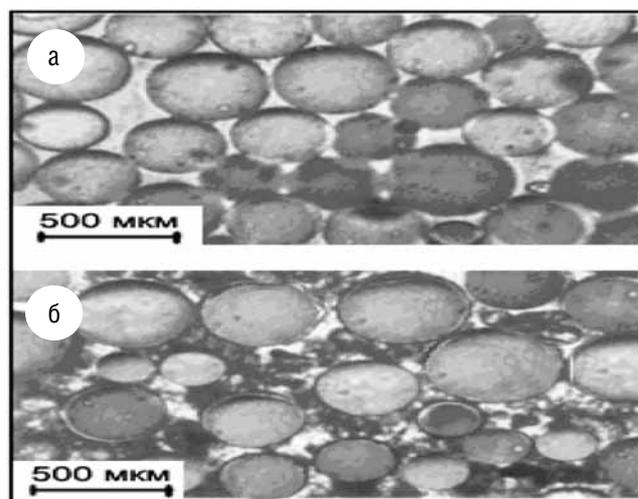


Рис. 5. Фотография эмульсии тетрадекана в водной фазе, стабилизированной полистирольными микросферами (образец 1) при концентрации сульфата аммония: а - 1%, б - 5%

В табл. 2 представлены максимально достигнутые значения эмульгирующей способности тетрадекана водными дисперсиями полистирольных микросфер (образцы 1–4) при введении в систему сульфатов аммония, цинка и марганца. Полученные результаты показывают корреляцию между поверхностно-активными свойствами полимерных частиц и их эмульгирующей способностью.

Табл. 2. Зависимость максимальной доли эмульгированного тетрадекана (%) в эмульсии, стабилизированной различными образцами полистирольных микросфер от химического состава катиона сульфата, введённого в водную субфазу

Ион	Максимальная доля эмульгированного тетрадекана для различных образцов полимерных микросфер, %			
	№1	№2	№3	№4
Mn <sup>2+</sup>	28±3	17±3	12±1	22±2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	25±2	16±2	8±1	24±3
Zn <sup>2+</sup>	19±1	15±2	5±1	20±2

#### Выводы

Таким образом, показана возможность использования полимерных микросфер в качестве твёрдых стабилизаторов эмульсий.

Установлено, что природа поверхности синтезированных полимерных микросфер (наличие функциональных групп, иммобилизированных поверхностно-активных

веществ, карбоксилированного олигодиметилсилоксана БСА) определяет их эмульгирующую способность.

Получены закономерности изменения эмульгирующей способности полимерных частиц в зависимости от природы функциональных групп на поверхности полимерных микросфер и концентрации электролитов в водной фазе. Определены оптимальные концентрации полимерных микросфер и электролитов, обеспечивающие максимальную эмульгирующую способность.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности продолжения работ и определения технологических условий для дальнейшего использования полимерных микросфер в качестве различных добавок в эмульсионные слои, покрытия при производстве, эксплуатации и хранении кинофотоматериалов. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. М.: Мир, 1997.
2. Симакова Г.А., Каминский В.А., Грицкова И.А., Праведников А.Н. Микроэмульгирование в процессе эмульсионной полимеризации // Докл. АН СССР, 1984, 276, 1, с. 151-153.
3. Binks B.P. and Lumsdon S.O. Influence of Particle Wettability on the Type and Stability of Surfactant-Free Emulsions // Langmuir 2000,16, 8622-8631.
4. Binks B.P. and Join H. Clint Solid Wettability from Surface Energy Components : Relevance to Pickering Emulsions // Langmuir 2002, 18, 1270-1273.
5. Antonietti M., Tauer K. 90 Years of Polymer Latexes and Heterophase Polymerization: More vital than ever / M. Antonietti, K. Tauer // Macromol. Chem. Phys, 2003, 204, p. 207-219.
6. Измайлова В.Н., Ямпольская Г.П., Сумм Б.Д. Поверхностные явления в белковых системах. М.: Химия, 1988.

## УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Научно-исследовательский кинофотоинститут совместно с Институтом проблем передачи информации Российской академии наук проводит анкетирование среди зрителей, просмотревших стереофильмы (3D) в цифровых кинозалах.

Результаты анкетирования позволят разработать специальные требования к цифровому стереокинопоказу, которые необходимы для обеспечения комфортных условий просмотра стереофильмов и восприятия объёмного изображения в кинозале без усталости глаз.

Огромная просьба ко всем, просмотревшим стереофильм в кинотеатре, заполнить в электронном виде анкету, размещённую на сайте:

[www.iitp.ru/3d](http://www.iitp.ru/3d)

3D



# ОЦИФРОВКА АРХИВНЫХ КИНОДОКУМЕНТОВ



Л.Г. Лишин, д.т.н.,  
ЗАО ВНИИТР

## Аннотация

*В статье анализируются различные способы записи кинодокументов и их хранение. Приводятся технические параметры библиотек LTO, характеристики перспективных носителей информации, параметры международных стандартов для телевизионного вещания.*

*Ключевые слова: кинодокументы, хранение, носители информации, международные стандарты, телевидение.*

## ■ Часть 1

К 2015 г. наша страна полностью перейдёт на цифровое вещание, и это ведёт к необходимости приступить к оцифровке аналоговых архивных фондов. Телекомпании и кинотеатры с электронной проекцией заинтересованы в получении цифрового контента, и это ставит сложные задачи перед всеми кинофондами страны [1].

Принципиальные вопросы применения цифровых технологий в кинопроизводстве подробно рассмотрены в статье М.С. Васина [2]. До последнего времени многие специалисты отрицали необходимость оцифровки кинофондов, справедливо считая киноплёнку носителем, значительно превосходящим магнитные ленты по разрешающей способности, по срокам хранения и другим показателям. Вместе с тем цифровые технологии позволяют получать копии различных цифровых форматов, восстанавливать копии с почти утраченных киноматериалов, без потери качества многократно дублировать копии, создавать копии пониженного качества для обмена информацией со смежными архивами. Поэтому в Госфильмофонде РФ после проведения подготовительных работ была разработана технология перезаписи на магнитооптические диски ёмкостью от 1,3 до 5,2 Гб. В последнее время был закуплен и введён в эксплуатацию новый комплекс оцифровки на магнитные ленты.

Обычно во всех форматах цифровой записи на ленту скорость перемещения головок в сотни раз превосходила скорость перемещения ленты. Однако в 1997 году был создан новый формат записи на ленту, предназна-

## DIGITIZATION OF ARCHIVAL FILM DOCUMENTS

L. Lishin

### Abstract

*The article analyzes the different ways of recording film documents and their storage. Technical options Libraries LTO, the characteristics of promising media, the parameters of international standards for television broadcasting are given.*

*Keyword: film documents, storage, storage medium, the international standards, TV.*

ченный для архивирования цифровой информации. В нём был заложен принципиально новый способ записи строчек вдоль ленты большим числом неподвижных головок. Была разработана технология Magstar с использованием магнитно-резистивных головок для записи/чтения цифровой информации, конструкция которых позволила их максимально сблизить. 512 головок были объединены в единый моноблок высотой 12,3 мм, в котором каждая головка имеет миниатюрный сердечник из магниторезистивного материала. Для уменьшения износа ленты и головок запись информации осуществляется контактным способом, а воспроизведение – бесконтактным. В настоящее время фирма производит четвертое поколение устройств LTO-4, приобретённое Госфильмофондом РФ. Устройство имеет встроенную систему сжатия записываемой цифровой информации, которая позволяет увеличить ёмкость до 200 Гб. При этом скорость записи может достигать 120 Мбит/сек, а скорость чтения – до 30 Мбит/сек. Срок хранения данных декларируется до 30 лет. Для ленточных устройств форматов LTO есть роботизированные библиотеки, рассчитанные на хранение больших объёмов информации для автоматизированных цифровых архивов. В LTO используется лента шириной 12,3 мм типа MP, намотанная на одну бобину, что позволяет достичь ёмкости одного картриджа 400 Гб. Технология LTO, использующая двумерную квантовую магниторезистивную технологию перпендикулярной записи, наряду со снижением общей стоимости хранения, обеспечивает полную автоматиза-

цию долгосрочных архивов информации, резервное копирование данных и обмен контентом между архивами. В табл. 1 приведён рост по годам основных технических параметров библиотек LTO.

Табл. 1. Технические параметры библиотек LTO

Год выпуска	2000	2003	2005	2007	2010	2015
Тип LTO Ultrium	LTO-1	LTO-2	LTO-3	LTO-4	LTO-5	LTO-6
Ширина ленты, мм	12,24	12,24	12,24	12,24	12,24	12,24
Число головок	384	512	512	512	512	512
Записываемый поток, МБ/сек	20	40	80	120	180	270
Ёмкость, ГБ	100	200	400	800	1600	–
Объёмная плотность, ГБ/сек на дюйм <sup>3</sup>	17,57	35,1	70,2	140,4	271	–

Вместе с тем, хранение в картридже LTO одной катушки с лентой приводит к ненадёжной заправке свободного конца ленты в тракт. Это ведёт к частым отказам при смене картриджей.

Большинство специалистов считают, что оцифрованный сигнал должен поступать в архив длительного хранения без сжатия, хотя это требует дополнительных затрат. Ситуацию могут исправить новые носители и новые технологии оцифровки, появившиеся в последние годы. Какие из них перспективны, по каким параметрам их стоит выбирать?

Конечно, можно сравнивать технологии по стоимости записи бита цифровой информации, по времени доступа к точке монтажа, по скорости записи цифрового потока и другим показателям. Эти показатели у современных носителей значительно отличаются. Поэтому на основе исследований, проведённых в ЗАО ВНИИТР, автором был предложен обобщённый критерий и модель сравнения носителей для современных технологий цифровой записи [3]. Исследования роста различных показателей за длительный период времени показывают, что таким критерием может служить многомерная плотность цифровой записи при условии соблюдения определённых правил подсчёта объёмов записанного носителя (форм-фактора дисков, наличия приёмной катушки в кассетах или дополнительной экранировки для защиты записанной информации). Автором был сделан расчёт данного параметра для наиболее распространённых цифровых видеомгнитофонов, оптических и голографических дисков, твёрдотельной памяти и других перспективных носителей. Расчёт показал, что за последние 10 лет объёмная плотность записи информации у жёстких дисков с перпендикулярной записью доменов и специальным покрытием, у накопителей LTO-4 с ленточным парамагнитным покрытием и магниторезистивными головками

увеличилась на порядок (рис. 1), Но наиболее быстрый рост показателей наблюдался у голографических дисков и некоторых видов твёрдотельной памяти, которые практически не ограничивают величину записываемого цифрового потока.

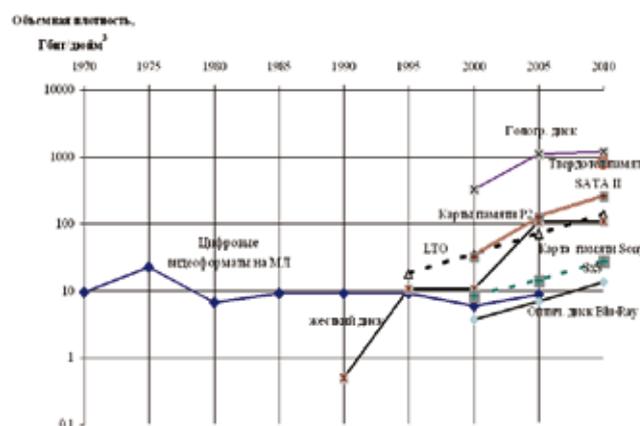


Рис. 1. Рост по годам плотности записи Rxyz на различных носителях

Все привыкли к легенде о том, что записанный носитель должен обеспечивать хранение не менее 50 лет. Однако современным цифровым носителям, лентам и жёстким дискам со специальными покрытиями, многослойным оптическим дискам, голографическим дискам и твёрдотельной памяти ведь всего не более 15 лет! Поэтому экспериментально проверить допустимое время хранения цифровой записи без помех для этих носителей невозможно. Вместе с тем возникает вопрос: стоит ли хранить все фонды столь долго, когда технология подготовки оцифрованных кинофильмов к демонстрации в электронных кинотеатрах меняется едва ли не каждые 5–10 лет. Не исключено, что совершенствование технологий цифровой записи и цифровой проекции кинофильмов приведёт к более частой смене архивных носителей в связи с появлением более удобных способов записи оцифрованного контента. Может быть, через 10 лет куда более важным показателем может оказаться не временная стойкость носителя, а простота и скорость преобразования файлов в современную цифровую струк-

туру. Тем более, что при выборе носителей для оцифровки фондов необходимо учитывать экономические факторы. В табл. 2 приведены важнейшие характеристики всех известных на настоящее время носителей и затраты, необходимые для оцифровки 1000 часов контента по состоянию рынка на 2009 год. Возможно, в дальнейшем стоимость твёрдотельной памяти снизится, но в настоящее время её использование для целей архивирования будет разорительно. Бесспорные преимущества по стоимости и объёмной плотности имеют голографические диски и запись на ленты с парамагнитным покрытием магниторезистивными головками[4].

- можно предположить по результатам расчёта многомерной плотности цифровой записи, что в ближайшее пятилетие на первое место среди носителей выйдут голографические и многослойные диски, и твёрдотельная память, у которых исключительно высокая максимальная скорость записываемого потока при огромной плотности записи;

- в более отдалённой перспективе (2020 год) в долговременных архивах будут использоваться новые накопители, работы над которыми ещё только ведутся учёными. Но они будут очень ёмкими и дешёвыми!

## Часть 2

Переход кинематографистов на работу с цифровым аудиовизуальным контентом потребует тесной связи с

Табл. 2. Характеристики перспективных носителей информации с учётом стоимости единиц хранения в архивах

Тип носителя	Время записи, мин	Стоимость единицы, тыс. руб.	Количество единиц носителей на 1000 часов	Стоимость 1000 час, тыс. руб.	Время доступа	V <sub>обм</sub> МБ/с	П <sub>хвз</sub> ГБ/дюйм <sup>3</sup>
Betacam SP	90	0,78	667	519,48	Часы	–	–
Betacam Digital	124	2,21	484	10 696	Часы	15	9,8
DVCam	184	1,17	326	381,42	Часы	3	0,8
DVD Blue-ray	60	0,65	1000	650	Минуты	4,5	3,74
Western Digital HDD	1700	1,3	35,3	46	Секунды	10	107
LTO-3	83,3	2,34	70	164	Минуты	120	140
Tapestry 800	60	4,2	1000	164	Секунды	120	1220
Total Storage – DS4800	90	69,9	667	46 690	Миллисекунды	10	6530
AJ-P2 Panasonic	32	50	1875	17 578	Миллисекунды	10	7,5
SxS PRO™ Sony	16	10	3750	37 500	Миллисекунды	10	8,4

При создании технологии оцифровки необходимо обратить внимание на различие стандартов и технических параметров изображений, используемых кинематографистами (например, разрешение 1920x1080CIF 24p) и выпускаемой телевизионной аппаратурой, предназначенной для обработки цифровых сигналов, которая создавалась для стандартного телевизионного сигнала (625x25i) и телевизионных сигналов высокой чёткости. Как показала практика, сигнал для демонстрации кинофильма на электронном проекторе должен иметь прогрессивную развёртку. Не исключено, что после оцифровки киноленты потребуется дополнительная обработка оцифрованного контента перед показом фильмов на экране. Поэтому можно предложить следующие рекомендации:

- определиться с выбором носителей и технологией оцифровки кинофондов для архивов различного назначения и разных сроков хранения;

- согласовать параметры телевизионных стандартов ТВЧ, СТВЧ и стандартов для оцифровки кинофондов различного назначения (для демонстрации в кинотеатрах или для длительного хранения);

его потребителями. В статье [5] автор подчёркивает, что построение электронного архива для кинематографистов связано не только с выбором носителя. Дело в том, что в состав электронного архива предлагается включить сканер киноплёнки, сервер для оперативной записи и обработки оцифрованного материала, сервер для промежуточного накопления сжатого контента, транскодер и ряд других электронных устройств, обеспечивающих поиск и краткое описание хранимого материала, и ряд других операций. Подобные комплексы, возможно, появятся при широкой демонстрации цифровых кинофильмов в кинотеатрах. Предложение использовать жёсткие диски для долговременного хранения киноматериала вряд ли можно рассматривать серьёзно из материальных соображений. Если кинокартина длительностью 120 мин хранится на диске в разрешении 2K (2048x1556) с квантованием 12 бит цветовых компонент, то весь фильм потребует ёмкости  $13,7 \times 24 \times 3600 \times 2 = 2367360$  МБ. Если один звуковой канал занимает 500 кБ/с., то при наличии многоканального звукового сопровождения с учётом хронометража картины получим  $3 \times 120 \times 60 = 21600$  ТБ.

Таким образом, для записи всей кинокартины потребуется хранилище объёмом 2, 32 ТБ. Т.е. один кинофильм может не уместиться в сервере. По данным американской Академии кинематографического искусства в отчёте «Digital Dilemma», приводятся данные, что годовое хранение одной цифровой мастер-копии картины стоит 12512 \$, при стоимости хранения копии на киноплёнке 1059 \$. Приводимые цифры лишней раз подчёркивают правильность выбора носителя типа LTO-4 и для архивирования .

Второй важный вопрос – это выбор стандарта для оцифровки. В табл. 3 приведены основные параметры международных стандартов, принятые решениями EBU (от 02.2006 г.) для телевизионного вещания, и решения-

ми DCI (от 06.2006), предполагаемые основные параметры форматов сверхвысокого разрешения для кинематографии. Сравнение форматов, приведённых в табл. 3, показывает, что даже наиболее близкая к кинематографической системе (System 1), телевизионная система (System 3) заметно отличается не только разрешением, но и кодированием цветовых сигналов. Отсюда можно сделать вывод о том, что для создания комплексов высококачественной оцифровки кинолент с целью архивирования придётся создавать специальное телевизионное оборудование сверхвысокой разрешающей способности.

Если предположить, что для целей архивирования потребуется оцифровать кинофильм, соответствующий параметрам, указанным например в System 5, то суммарный цифровой поток возрастёт примерно в 2 раза и составит 5 ТБ, а для системы сверхвысокого разрешения 7680x4320 – до 23,4 ТБ.

В настоящее время отсутствуют способы записи подобных цифровых потоков без предварительного сжатия, и оцифровка кинолент с подобным разрешением пока невозможна. В ближайшее время оцифрованный контент из кинофондов будет в основном поступать в сжатом виде в кинотеатры с электронной проекцией, а вопросы длительного архивирования кинофондов в оцифрованном виде будут решены с появлением новых носителей и новых способов цифровой записи. ■

Табл. 3. Параметры международных стандартов для телевизионного вещания

Решения European Broadcasting Union Соотношение размеров экрана					
System 1	1280 H	720 V	50 P	1.77	(16:9)
System 2	1920 H	1080 V	25 I	1.77	
System 3	1920 H	1080 V	25 P	1.77	
System 4	1920 H	1080 V	50 P	1.77	
Color	4:2:2	10 bit			
Digital Cinema Initiatives					
System 1	2724 H	2048 V	24 P	1.33	
System 2	3400 H	2048 V	24 P	1.66	
System 3	3790 H	2048 V	24 P	1.85	
System 4	4096 H	2048 V	24 P	2.00	
System 5	4096 H	1714 V	24 P	2.39	
Color	4:4:4	12 bit			
Ultra High Definition Video Systems (NAB-2006) Сверхвысокое разрешение					
	3840x2160	7620x4360	7680x4320		

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Лишин Л.Г., Цирлин И.С.* Проблемы перехода России на цифровое телевидение. // Федеральный справочник, 2008, с. 409-412.
2. *Васин М.С.* Использование средств цифрового электронного кинематографа в Госфильмофонде России. // МТК, 2008, № 8, с. 7-10.
3. *Лишин Л.Г.* Сравнение различных видов носителей, используемых для записи цифровой аудиовизуальной информации и архивирования. // МТК, 2008, №10, с. 16-19.
4. *Лишин Л.Г., Лишин И.Л.* Десять заповедей архивариуса, или ещё раз о критериях выбора. // ТТК 625, 2007, № 2 (126), с. 95-97.
5. *Львов М.* Что останется потомкам? ТТК 625, 2008, № 02 (16), с. 32-37.



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВЕТОВОГО ПОТОКА ЦИФРОВОГО КИНОПРОЕКТОРА

Д.В. Шевченко,  
ст. инженер по  
кинооборудованию,  
ЗАО «Синема Парк»



## Аннотация

В статье рассматривается вопрос определения требуемого светового потока цифрового кинопроектора. Предлагается формула и значения коэффициентов для расчёта светового потока, необходимого при цифровом кинопоказе.

**Ключевые слова:** световой поток, яркость, киноэкран, цифровой кинопроектор, нормативные документы.

DETERMINATION OF A LUMINOUS FLUX OF A DIGITAL PROJECTOR

D. Shevchenko, «Cinema Park»

## Abstract

In article the question of definition of a demanded luminous flux of a digital projector is considered. The formula and values of factors for calculation of the luminous flux necessary at digital projection is offered.

**Keywords:** luminous flux, luminance, cinema screen, digital projector, normative document.

■ В настоящее время в нашей стране открываются всё новые и новые залы, оборудованные для демонстрации цифровых кинофильмов. На сегодняшний день их число составляет около 180 в России. Но какими нормативными документами пользуются организации, осуществляющие проектирование этих залов?

В статье [1] уважаемые авторы поднимают вопрос о необходимости разработки плана проведения мероприятий по стандартизации, предусматривающего разработку, пересмотр, подготовку и утверждение нормативных и методических документов. С этим нельзя не согласиться.

На сегодняшний день проектирование кинотеатров осуществляется на основе 11 отраслевых стандартов [1], но одними из основных нормативных документов из них являются [2, 3, 4].

Для создания нормативных документов, обеспечивающих проектирование зрительных залов, предназначенных для демонстрации цифровых кинофильмов, можно работать в трёх направлениях:

1. указанные нормативные документы доработать с учётом требований международных стандартов;
2. принять за основу международные стандарты;
3. создать новые отечественные нормативные документы, учитывающие требования техники и технологии демонстрации цифровых кинофильмов и особенности развития цифрового театрального кинематографа в России [5].

С учётом того, что с 01.07.2010 года, согласно ст.46 п.7 закона «О техническом регулировании», будут фактически отменены на территории РФ отраслевые стандарты, то наиболее реальным видится третье направление развития отечественных НТД в соответствии с указанным законом.

Журнал «Мир техники кино» на своих страницах неоднократно предоставлял возможность выступить ведущим специалистам по Цифровому Кино на своих страницах, но рассмотренные ими вопросы не касались непосредственно проектирования зрительных залов для демонстрации цифровых кинофильмов.

В связи со значительной разницей в технике, технологическом оснащении и технологии демонстрации

цифровых и 35-мм плёночных кинофильмов, следует выявить разницу между ними, чтобы наметить основные направления в новых документах по вопросам проектирования зрительных залов, определения требуемого светового потока цифрового кинопроектора.

В процессе работы в ЗАО «Синема Парк» приходится решать вопрос: какой цифровой кинопроектор следует выбрать для установки в том или другом зале?

Известно, что световой поток кинопроектора в традиционном 35-мм плёночном кинематографе определяется по следующей формуле [6]:

$$F_{\text{ТР}} = \frac{\pi \cdot K_1 \cdot K_2}{K_3 \cdot \beta_p} \cdot S \cdot L, \quad (1)$$

где:

$F_{\text{ТР}}$  – требуемый световой поток плёночного кинопроектора;

$K_1 = 0,7$  – средний коэффициент, учитывающий неравномерность светового потока (неравномерность яркости по площади экрана);

$K_2 = 1,15$  – коэффициент запаса светового потока;

$K_3 = 0,85$  – коэффициент, учитывающий потери света в стекле противопожарной заслонки;

$\beta_p$  – осевой коэффициент яркости экрана;

$S$  – площадь широкоэкранный изображения;

$L = 50 \pm 15$  кд/м<sup>2</sup> – яркость в центре киноэкрана при работающем кинопроекторе без фильмокопии.

Для выбора цифрового кинопроектора нужна новая формула расчёта светового потока по целому ряду причин:

- в цифровом кинопроекторе отсутствует обтюратор;
- равномерность освещения киноэкрана цифровым кинопроектором выше, чем у плёночного кинопроектора;
- киноэкраны, применяемые в залах для демонстрации цифровых кинофильмов, иностранного производства, и они имеют коэффициенты яркости, отличные от киноэкранов, применяемых в отечественных кинотеатрах и изготавливаемых в соответствии с [7];
- соотношение сторон широкоэкранный изображения в плёночном и цифровом кинематографах имеют разные величины;
- значения нормированной яркости в центре киноэкрана в плёночном и цифровом кино различны;
- использование различных систем 3D показа (DOLBY, Nu Vision, Real D).

Ведущие производители DLP проекторов Barco, Christie Digital Systems, NEC, Cinemecanica, Kinoton решают эти вопросы следующим образом: они ведут расчёт не требуемого светового потока кинопроектора, а определяют максимальную ширину киноэкранов, которые они могут обслуживать с нормированной SMPTE яркостью 12 ft (ft – внесистемная единица яркости фут-ламберт, равная 3,432 кд/м<sup>2</sup>). Коэффициент отражения полотна экрана для обеспечения такой яркости должен быть равен 1,8. Исходными данными для расчёта они берут:

- световой поток выпускаемого кинопроектора;

- коэффициент отражения киноэкрана;

- максимальный формат кинокадра цифрового изображения, получаемый как отношение количества пикселей по горизонтали к количеству пикселей по вертикали;

- нормированная яркость в центре киноэкрана (по требованиям DCI).

Такой подход к определению ширины киноэкрана даёт не реальные, а рекламные значения получаемой ширины киноизображения на экране, так как не учитывается целый ряд факторов, присутствующих при реальной кинопроекции из киноаппаратной.

Частично ряд таких факторов перечислен выше при определении требуемого светового потока:

- средний коэффициент, учитывающий неравномерность светового потока (неравномерность яркости по площади экрана);

- коэффициент запаса светового потока, учитывающий старение ксеноновой лампы;

- коэффициент, учитывающий потери света в стекле кинопроекторного (противопожарного) окна.

Другими факторами, учитывающими особенности цифровой кинопроекции, являются:

- отсутствие обтюратора;

- соотношение сторон кадра цифрового изображения;

- расчётный коэффициент яркости экрана;

- нормированная яркость в центре киноэкрана;

- коэффициент, учитывающий снижение светового потока при 3D показе (DOLBY, Nu Vision, Real D).

Аналогичное мнение высказано авторами в [8]: «Есть серьёзные основания усомниться в достаточности светового потока 30000 лм для обслуживания с нормативной по SMPTE яркостью (48 кд/м<sup>2</sup> и не менее 20 кд/м<sup>2</sup> по истечении срока службы лампы) экрана шириной 30 м. Как показывает простой расчёт (см. ТТК №2, 2006, с. 66), такого светового потока  $\Phi$  достаточно для широкого, 100% отражающего киноэкрана шириной лишь около 19 м. Яркость же экрана шириной 30 м при номинальном (с новой лампой) световом потоке проектора 30000 лм окажется недопустимо низкой уже через несколько часов работы. Поэтому следует с осторожностью относиться к рекламируемым светотехническим параметрам видеопроекторов, чтобы не оказаться перед необходимостью частой замены дорогостоящих ламп для них. Что же касается максимальной ширины экрана, то этот показатель часто является рекламным приёмом производителей и не имеет практического значения».

В упоминаемом выше журнале отмечается: «Оценить паспортный (с новой лампой) световой поток  $F$ (лм) широкоэкранный проектора при яркости экрана 48 кд/м<sup>2</sup>, его площади  $S$  (м<sup>2</sup>), ширине  $B$  (м) и коэффициенте отражения  $\rho = 0,8$  можно, воспользовавшись простым выражением  $\Phi = 48\pi S/\lambda\rho = 100B^2$ . Например, для модификации проектора Runco SC-1 со световым потоком 9000 лм допустимая по данным фирмы ширина экрана не должна превышать 12 м. Расчётная яркость экрана

таких размеров со 100-процентной отражательной способностью по приведённой выше формуле составит лишь 25 кд/м<sup>2</sup>. Поэтому на практике, выбирая проектор для конкретных целей, имеет смысл приводимые фирмами данные по максимальной ширине экрана уменьшать на 20...50% (до 9,5 м для проектора SC-1)». Предлагается вести расчёт светового потока по следующей формуле:

$$F = \pi L S / \lambda \rho \quad (2)$$

Следует отметить, что и эта формула не лишена неточностей. Так, в ней не отражается мнение самого автора о необходимости вести расчёт по максимальной ширине киноэкрана. Не учтены и такие факторы, как:

- средний коэффициент, учитывающий неравномерность светового потока (неравномерность яркости по площади экрана);
- коэффициент запаса светового потока, учитывающий старение ксеноновой лампы;
- коэффициент, учитывающий потери света в стекле проекционного окна киноаппаратной;
- отсутствие обтюратора.

Учитывая всё выше изложенное, предлагается для определения требуемого светового потока цифрового кинопроектора использовать следующее выражение:

$$F_{\text{тр}} = \frac{\pi \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_4}{K_3 \cdot K_5 \cdot \beta_0 \cdot \lambda} \cdot S \cdot L, \text{ лм} \quad (3)$$

где:

$F_{\text{тр}}$  – требуемый световой поток цифрового кинопроектора;

$K_1$  – средний коэффициент, учитывающий неравномерность светового потока (неравномерность яркости по площади экрана);

$K_2$  – коэффициент запаса светового потока;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий потери света в стекле противопожарной заслонки;

$K_4$  – коэффициент, показывающий отсутствие обтюратора в цифровом кинопроекторе;

$K_5$  – коэффициент, показывающий снижение светового потока при 3D показе;

$\beta_0$  – осевой коэффициент яркости экрана;

$\lambda$  – соотношение сторон кадра цифрового изображения;

$S$  – площадь широкоэкранный изображения;

$L$  – нормированная яркость в центре киноэкрана без изображения, кд/м<sup>2</sup>.

Основываясь на требованиях DCI, опубликованных в [5], и на основании приведённых выше и в [8] обоснований для расчётов требуемого светового потока цифрового кинопроектора, допустимо задать следующие значения коэффициентов:

$K_1 = 0,9$  – средний коэффициент, учитывающий нерав-

номерность светового потока (неравномерность яркости по площади экрана);

$K_2 = 1,15$  – коэффициент запаса светового потока, учитывающий старение ксеноновой лампы;

$K_3 = 0,85$  – коэффициент, учитывающий потери света в стекле противопожарной заслонки;

$K_4 = 2$  – коэффициент, учитывающий отсутствие обтюратора в цифровом кинопроекторе;

$K_5 = 0,4$  (0,5) – коэффициент, учитывающий снижение светового потока при 3D показе (0,4 – DOLBY; 0,5 – Nu Vision, Real D).

$\beta_0$  – осевой коэффициент яркости экрана, зависящий от типа киноэкрана, или, как его называют в зарубежных публикациях, «коэффициент усиления». В большинстве цифровых залов стараются устанавливать киноэкраны, имеющие осевой коэффициент яркости 1,4 или 1,8.

$\lambda$  – формат кадра,  $\lambda = 1,89$  2K(2048/1080 и 4K(4096/2160) – количество пикселей, соответственно, по горизонтали/вертикали;

$S$  – площадь широкоэкранный изображения. Ширина широкоэкранный изображения определяется в зависимости от размеров зрительного зала;

$L = 48 \pm 7$  кд/м<sup>2</sup> – по нормированию DCI. Для вновь проектируемых кинозалов желательно применение положительного значения допуска. Отрицательные величины допуска следует применять только для действующих цифровых кинопроекторов.

Расчёты требуемого светового потока, выполненные в зависимости от ширины киноэкрана по (1) и (3), приведены в табл. 1 и 2. Т.к. производители цифрового оборудования приводят данные светового потока при определённой ширине экрана, то необходимо вычислить высоту экрана для расчёта требуемой площади. При широкоэкранный кинопоказе соотношение сторон 1: 2,39.

Табл. 1. Расчёты светового потока для плёночного кинопроектора

Требуемый световой поток	при $\beta_0 = 0,78$	при $\beta_0 = 1,4$	при $\beta_0 = 1,8$	для Шш, м
$F_{\text{тр}1}$	2920,227	1626,984	1265,432	6
$F_{\text{тр}2}$	6570,511	3660,713	2847,222	9
$F_{\text{тр}3}$	11680,91	6507,935	5061,727	12
$F_{\text{тр}4}$	18251,42	10168,65	7908,949	15
$F_{\text{тр}5}$	26282,04	14642,85	11388,89	18
$F_{\text{тр}6}$	35772,78	19930,55	15501,54	21
$F_{\text{тр}7}$	46723,64	26031,74	20246,91	24
$F_{\text{тр}8}$	59134,6	32946,42	25624,99	27
$F_{\text{тр}9}$	73005,68	40674,59	31635,79	30

Табл. 2. Расчёты светового потока для цифрового кинопроектора

Требуемый световой поток	при $\beta_0 = 1,8$	для Шш, м	Вш,м Шш,м /2,39
$F_{тр_1}$	1856	6	2.5
$F_{тр_2}$	4120	9	3.7
$F_{тр_3}$	7425	12	5.0
$F_{тр_4}$	11508	15	6.2
$F_{тр_5}$	16706	18	7.5
$F_{тр_6}$	22609	21	8.7
$F_{тр_7}$	29700	24	10.0
$F_{тр_8}$	37422	27	11.2
$F_{тр_9}$	46406	30	12.5

В табл. 1 и 2 выделены цветом световые потоки (для соответствующих размеров киноэкранов), не достижимые для современных моделей кинопроекторов.

#### Выводы

1. Существующая система нормативно-технической документации требует доработки в отношении цифрового кинематографа, который активно расширяется в нашей стране. Причём разработка нормативно-технической до-

кументации должна производиться более активно, чем идёт внедрение цифрового кинематографа.

2. Предлагаемое выражение и значения коэффициентов для определения требуемого светового потока цифрового кинопроектора целесообразно принять при разработке нормативно-технической документации для выбора цифрового кинопроектора. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалевская Н.С., Комар В.Г., Володько А.А., Чекалин Д.Г. Стандартизация в кинематографии. МТК №14, 2009, с. 46-49.
2. ОСТ 19-154-2000. Кинотеатры и киноустановки. Технологические параметры зрительных залов.
3. ОСТ 19-155-2000. Кинотеатры и киноустановки. Качество проецируемого изображения.
4. РТМ 19-77-94. Развитие и технологическое оснащение киносети.
5. Комар В.Г., Блохин А.С. Концепция технологических решений развития цифрового театрального кинематографа в России. МТК №1, 2006, с. 16-20.
6. Грибов В.Д. Кинотехнологическое оборудование кинотеатров. Учебное пособие, изд. СПбГУКИТ, 2005, с. 196.
7. ОСТ 19-32-83. Киноэкраны. Типы. Основные параметры. Размеры поля экранного полотна.
8. Самохин В., Терехова Н. Проекторы D-cinema и HDTV 2007...2008. ТТК, №3 (17), 2008, с. 51-54.

**25 марта 2010 года в 11-00**

## НИКФИ совместно с Российской секцией SMPTE проводит Круглый стол «Стандартизация в кинематографии: современное состояние, задачи и направления развития»

#### Предполагается рассмотрение тем:

- международная и национальная стандартизация (современное состояние и тенденции развития);
- стандартизация в области цифрового кинематографа;
- основные параметры и методы контроля, определяющие качество кинопоказа;
- проблемы выбора и определения необходимых параметров для стереоскопического (3D) кино;
- вопросы архивного хранения;
- предложения от Российской Федерации по разработке новых международных стандартов ИСО;

По всем вопросам обращаться в Оргкомитет по адресу:  
Россия, Москва, 125167, Ленинградский проспект, д.47, ОАО «НИКФИ»  
Тел.: (495) 771-74-60 ; Факс: (499) 157-59-66 Чекалин Дмитрий, Носкова Вера  
E-mail: chekalinnikfi@mail.ru, vera-noskova@yandex.ru



# Влияние эволюции съёмочной техники на развитие кинематографа



О.С. Грачёва,  
аспирантка института  
ИПК работников  
ТВ и РВ

## Аннотация

*В статье рассмотрена историческая взаимосвязь между эволюцией в развитии съёмочной аппаратуры и изобразительным стилем кино, а также затронуты некоторые другие аспекты, без которых картина была бы неполной.*

*Ключевые слова: Кинотехнология, съёмочная камера, кинокамера, цифровая камера, высокая чёткость, цифровое кинопроизводство, цифровой интермедийт, история кино, стерео кино (3D cinema), видеоконтроль, кинооператор, стедикам, Техниколор, создание киноаппарата.*

## ■ Введение

История кино в большинстве киноведческих исследований – это история личностей, в основном режиссёров, стилистических направлений. Достаточно редко говорится в них о развитии кинематографической техники и её взаимосвязи с творчеством, хотя кино – наиболее технологизированное искусство, возникшее именно благодаря развитию техники. Конечно, прогресс в любой человеческой деятельности, прежде всего, вершит творческое, созидательное начало самого человека. В кино важнейшей движущей силой являлись творческие устремления кинематографистов, прежде всего режиссёров, а в истории развития кинотехнологии есть масса примеров тому, как многие изобретения пылились невостребованными, пока не пришло их время. Это и стереокино, и широкий экран, и широкий формат, и множество других. Но, если апеллировать к диалектике, нельзя не рассмотреть другую сторону – некоторого влияния техники на творческую мысль.

Не будем ставить перед собой задачу достоверно и глубоко исследовать вопрос влияния развития технологии кинопроизводства, детального изучения как появление конкретной техники повлияло на конкретный фильм. Кинематограф, как и любое искусство, слишком сложная структура, чтобы с полной определённой и лёгкостью

THE INFLUENCE OF THE TECHNOLOGY EVOLUTION UPON THE DEVELOPMENT OF CINEMA.

*O. Gracheva*

## Abstract

*The article analyzes the historical connection between the evolution of shooting equipment and the visual style of cinema, it also deals with some other essential aspects.*

*Keyword: cinema technology, movie camera, cinema camera, digital camera, high definition, digital cinema production, digital intermediate, the history of cinema, 3D cinema, video assistant, cinematographer, steadycam, Technicolor, the creation of movie camera.*

судить о влиянии технологии или любого другого аспекта на появление уникального фильма, произведения искусства или нового течения. Однако, вполне можно проследить некоторую общую взаимосвязь в отношениях технологии и творчества.

Развитие техники в первую очередь приводит к расширению зрелищных возможностей кинематографа, даёт большую свободу в реализации художественных замыслов кинематографистов, а при умелом и творческом использовании открывает новые изобразительные и выразительные возможности киноискусства. Одновременно на каждом историческом этапе развития киноискусства техника определяет возможности, границы и постановочные средства, которые могут быть использованы при реализации художественного замысла. Создатели фильма всегда соотносят творческое решение с возможностями кинотехники. Однако ограничение в технических возможностях может и не препятствовать созданию художественных произведений. Более того, нередко преодоление ограничений, которые накладывала материальная база кинематографа, приводило к поискам новых художественных средств выразительности.

В этой статье мы рассмотрим историческую взаимосвязь между эволюцией в развитии съёмочной аппаратуры и изо-



Bell &amp; Howell 2709 (1911 год)



Mitchell BNC (1948)



Камера для съёмок по технологии Техниколор

бразительным стилем кино, затронув, однако, и некоторые другие аспекты, без которых картина была бы неполной. Среди всего многообразия кинематографической техники особо выделяется съёмочная камера – главный инструмент любого кино-, теле-, видеопроизводства, с создания и демонстрации возможностей которой, собственно, и началась история кино 28 декабря 1895 года.

Кинематограф – особый вид искусства, где творческий процесс создания фильма – это, чаще всего, ещё и серьёзный производственный процесс. По своей природе кино – зрелище массовое. «Кинетоскоп» Томаса Эдисона, за движущимся изображением в котором мог наблюдать всего лишь один зритель, был простым развлечением. Кино пришло с изобретением братьев Люмьер «Синематографом», где движущееся изображение могло наблюдать большое количество зрителей, сидящих в затемнённом зале. А появление массовой печати кинокопий позволило, со временем, показывать один и тот же фильм одновременно практически по всей планете. Массовое зрелище подразумевает и массовое производство, которое невозможно без определённой технологии, а она, в свою очередь, без определённых жёстких требований. Первый зритель был счастлив уже самим фактом «движущейся фотографии», однако, по мере привыкания, запросы «искушённого» зрителя возрастали. Миллионы огромных киноэкранов, показывающих чёткое, яркое изображение, заменили спроецированное на простыню мутноватую картинку с проскакивающей грязью, пылью и царапинами; сам факт звучащего фильма давно никого не поражает, шестиканальный звук стал стандартом. Фильмы, особенно рассчитанные на очень большие массы людей, становились всё длиннее и сложнее как по драматургии, так и по чисто кинематографическим средствам – языку, монтажу, изображению, звуку. Всё это определило усложнение кинопроизводственного процесса и повышения требований к киносъёмочному оборудованию. Принципиальное устройство съёмочной камеры осталось неизменным до наших дней – это аппарат для съёмки объектов на киноплёнку (видеоплёнку, магнитный носитель) в серии дискретно движущихся кадров,

принцип действия которого основан на персистенции – свойстве человеческого восприятия. Камера менялась качественно. Начиная с самого простого избавления внутренностей киноаппарата от чёрного бархата с целью уменьшения количества грязи и пыли на плёнке, камера эволюционировала через стандартизацию скорости киносъёмки, нормы в стоянии кадра, допуски в уровне шума от камеры при одновременной записи звука. Позже были созданы видео и цифровые камеры, в свою очередь имевшие свои стандарты и допуски, прошедшие эволюцию постепенного повышения качества изображения и других характеристик. В определённый момент развития кинотехнологии могла быть использована только та камера, которая соответствовала техническим стандартам данного этапа. Например, нельзя использовать шумную камеру с появлением чистовой записи звука на площадке, чего не было в немом кино. Нельзя использовать камеру с плохим стоянием кадра и неварцованным двигателем в игровом кино – Сергей Урусевский смог снять всемирно известные кадры «Летят журавли» только с появлением кинокамеры 1КСР «Конвас». Существовавшая ранее камера «Аймо» технологическим требованиям не соответствовала. Возможность снимать кино для большого экрана на цифровую камеру появилась лишь с появлением камер Высокой Чёткости (HD) («Звёздные войны. Эпизод II», «Видок», «Русский ковчег»).

Итак, один из аспектов кинопроизводства – технологический, определяемый стандартами и требованиями, менявшимися в течение времени.

Второй важный аспект развития кинопроизводства – творческий. В соответствии с тематикой статьи, рассмотрим не творческий процесс вообще, а ту его часть, что заставляла менять технику и технологию. Нередко операторы и режиссёры ставили перед киноинженерами новые задачи, заставляющие их создавать не только новую технику, но иногда и новую технологию. Советские операторы, например, нередко сами конструировали различные приспособления, начиная с операторских фильтров, линз, заканчивая тележками и кранами. Первый «Стедикам» придумал и сконструировал оператор-любитель (в то время) Гэррит



Жан-Люк Годар на съёмках (1959 год)



Оператор Грегг Толланд на съёмках фильма Гражданин Кейн (1941 год)



Оператор Леван Пааташвили с ручной камерой Arriflex BL

Браун, которому не хватало раскрепощённой камеры, а уникальные по своим пользовательским свойствам осветительные приборы фирмы «Дедолайт» создаются под влиянием создателя компании кинооператора Дедо Вайгерта. Желание сделать кинокамеру более мобильной и лёгкой, самым ярким сторонником которой был опять же Сергей Урусевский, заставило киноинженеров начать «борьбу» между уровнем шума кинокамеры и её размером и весом. Не удовлетворившись возможностями классических комбинированных съёмок, Джордж Лукас создал компанию «Industrial Light and Magic», занимающуюся компьютерной графикой для кинематографа, способствовал развитию других аспектов цифрового кинематографа.

Третий важный аспект – экономический. Как уже было сказано, кино родилось только когда стало массовым, то есть способным заработать достаточно много денег. Экономический фактор имел большое значение и при развитии кинотехнологии. Например, цветное кино существовало до появления массового производства цветных фильмов. Более того, качество некоторых цветных фильмов оставалось не только непревзойдённым в течение многих лет после массового появления цветного кино, но и потрясает нас и сейчас. Как фильм «Унесённые ветром» (1939 год), снятый в системе «Техниколор» (первый цветной фильм на трёхслойном негативе фирмы «Агфа» вышел в 1941 году). Но «Техниколор» – слишком дорогостоящая и сложная с точки зрения производства система, и пока не появилась более подходящая для массового производства технология, цветное кино не получило распространения. Ещё один пример – широкоэкранный кинематограф, реализуемый путём анаморфирования изображения при киносъёмке и дезанаморфирования при проекции. Данная система была предложена и разработана Эрстом Аббе ещё в 1897 году. Первый фильм «Возникновение огня» (режиссёр Клод Отан-Лара), снятый с анаморфотной оптикой и с соотношением сторон 1:2.66, вышел в 1928 году. Однако широкое распространение данная система получила только в пятидесятые годы, когда у кинематографа появился конкурент – телевидение, который начал отбирать у него зрителей, то есть прибыль. Подобным же образом пытаются привлечь зрителей в кинотеатры и в наши дни, обратившись к си-

стеме стереоскопического кинематографа. Крупнейшие блокбастеры не обходятся без формата «3D», будь то весь фильм или хотя бы вставки в него. А ведь ещё А. Кауфман в 1925 году работал по применению стереоскопов для кинематографии, а рекламируемые ныне «активные очки», действующие обтюраторным методом сепарации изображения, разработал в 1927 году Юиптхайт. Первый стереокинотеатр основал Луи Люмьер в 1935 году.

Итак, заручившись тремя аспектами (технологическим, экономическим, творческим), приступим к рассмотрению истории развития кинотехнологии и её влияния на творческий процесс.

### Создание киноаппарата. Начало кинематографа

Относительная простота конструкции киноаппарата Люмьера позволила копировать его каждому, кого заинтересовало новое зрелище. Большинство пионеров кино свои первые фильмы снимали на аппаратах собственной конструкции или изготовленных знакомыми механиками. Первые киноаппараты были громоздкими, капризными и хрупкими, штатив, на который их устанавливали, обычно не имел раздвижных ножек. Хотя уже в аппарате Люмьеров была предусмотрена возможность визировать изображение по матовому стеклу, но это можно было сделать только предварительно, перед съёмками. Контролировать границы кадра в процессе съёмки можно было весьма приблизительно с помощью простейшего рамочного визира. Отсюда и методика работы оператора: предварительное определение границ будущего кадра с некоторым запасом по сторонам и высоте и полностью неподвижная камера при съёмке. Дистанция наводки на фокус оставалась постоянной – отсюда и ограничения мизансцены по глубине. Процесс подготовки камеры к съёмкам занимал немалое время. Эти особенности киноаппарата определял и характер работы оператора-документалиста – чаще всего он снимал общие виды события, лишь изредка изменяя точку съёмки. Да и сам процесс съёмки, когда оператор сосредотачивался на равномерном вращении ручки киноаппарата, не особенно позволял совершать какие-либо дополнительные действия, например, панорамировать. Всё это способствовало тому, что большая часть фильмов



Оператор Карл Страсс 1929 г.



Михаил Кауфман с Дебри



Киноаппарат фирмы Патэ

была, по сути, снятым на плёнку театром со статичным общим планом, неракурсным положением аппарата. В большинстве фильмов на заре кинематографа практически не применялись специфические, присущие исключительно кинематографу средства, изобразительные и монтажные. Разумеется, по причине не только технологической, но и творческой. Сам аппарат Люмьеров уже обладал некоторыми съёмочными возможностями (прямой и обратный ход, изменяемый угол открытия обтюратора), но ни сами Люмьеры, ни их операторы этими возможностями не воспользовались. Приоритет открытия съёмочных приёмов, связанных с использованием функциональных возможностей киноаппарата, приписывают Жоржу Мельесу. Он стал одним из первых, кто открыл трюковые и изобразительные возможности кинематографических приёмов, осуществляемых с помощью киноаппарата. «Множественное экспонирование», «стоп-камера», «обратная съёмка», использованные Мельесом в его феериях, были настолько оригинальны и необычны, что практически сразу нашли применение во множестве других фильмов.

### Серийное производство киноаппаратов. Советское кино 20-х годов

На смену штучному производству киноаппаратов приходит и постепенно совершенствуется их серийное производство. Один из первых – громоздкий, неудобный в управлении и капризный аппарат «Патэ». Затем появляются более надёжные и удобные изделия фирмы «Дебри» – аппараты под общим названием «Парво» с несколькими, всё более совершенными его модификациями. Например, «Парво Е» давал возможность наводки резкости по плёнке сквозным методом, а в модели «К» появился контргрейфер, гнездо объектива позволяло легко менять объективы. Линейка оптики к тому времени также расширилась. Легко представить себе, сколько творческих возможностей появилось у операторов в связи с этими усовершенствованиями. Разнообразие оптики и в наши дни является одним из важнейших выразительных средств, а возможность точно контролировать снимаемое изображение – удобством, дающим свободу работы с камерой. Среди модификаций камер «Дебри» появляется камера,

позволяющая снимать «рапидом» – вот и ещё выразительное средство в арсенале кинематографистов.

Другой киноаппарат, ставший массовым благодаря своим характеристикам – так называемый «2709» американской фирмы «Bell & Howell». «Классический» вид кинокамеры с двумя горбами-кассетами, турель с несколькими объективами, замена деревянных деталей на металлические (как и у «Дебри»), контргрейфер, дающий надёжное стояние кадра. Благодаря серийному производству, унифицированным деталям и появившимся стандартам, киноаппараты получили способность давать качественное изображение, что удовлетворяло технологический аспект производства. Что касается экономического аспекта – во время съёмки фильма камера перестала быть головной болью всей съёмочной группы и тянуть время на её обслуживание, которое так дорого даётся продюсером, платящим актёрам и другим членам группы за время присутствия на площадке. И о творческом аспекте – не только отсутствие головной боли дало возможность кинематографистам изобретать новые выразительные приёмы – ракурс, съёмка с необычной точки, съёмка с движения. Компактный, надёжный, небольшой и достаточно лёгкий «Дебри» стал основным инструментом в руках советских кинематографистов. С маленьким аппаратом можно было забраться, залезть, уехать практически куда угодно. На фотографиях со съёмки мы можем увидеть Сергея Эйзенштейна и Эдуарда Тиссэ под брюхами каменных коней Большого театра, снимающих «Октябрь» с двумя камерами «Дебри». Вездесущая камера Михаила Кауфмана и Дзиги Вертова в «Человеке с киноаппаратом», динамичная Александра Левитцкого и Льва Кулешова в «Необычайных приключениях мистера Веста в стране большевиков», съёмки в экспедиции Анатолия Головни и Всеволода Пудовкина «Потомок Чингиз-хана», и многие, многие другие.

В советских новаторских фильмах 20-х годов, в том числе перечисленных, преобладали натурные съёмки. В первую очередь, в этом проявлялось вечное стремление к одной из наиболее характерных черт кино как искусства – изобразительному жизнеподобию. Но возможно, этому способствовали и низкокачественная киноплёнка, и низкокачественная оптика, среди которой хоть и

существовали светосильные объективы, но снятое на открытых диафрагмах таких объективов изображение не поддавалось никакой критике и поэтому не пользовалось популярностью у кинооператоров.

Динамичность, свобода творческого мышления, огромное количество открытий не только в монтаже, но и в изобразительной стороне фильма характеризует советское кино 20-х годов, достижения которого повлияли на дальнейшую мировую историю кино. Насколько важно было, что в этих открытиях с кинематографистами был неизменный спутник – киноаппарат «Дебри», можно оценить, только перейдя к следующей кинематографической эпохе.

### Приход звука в кино

В кино пришёл звук (1927 год, «Певец джаза» – считается первым звуковым фильмом). В первую очередь звук в кино стал важным экономическим фактором, поскольку привлекал большое количество зрителей, которым было любопытно посмотреть на новую диковинку, как когда-то было интересно увидеть первые фильмы. От такого простого, нетворческого подхода к звуку как к диковинке, предостерегали в своей заявке «Будущее звуковой фильмы» Эйзенштейн, Пудовкин и Александров. Но в большинстве случаев первые звуковые фильмы стали именно просто диковинкой для привлечения зрителей в кинотеатры. Экономическая выгода от появившейся чёткой технологии, в дальнейшем включавшей изготовление и прокат кинокопий со звуком (как и в истории создания кино, попыток заставить фильм звучать было несколько) была таковой, что даже трудности с серьёзным усложнением и удорожанием кинопроизводства и переоснащением кинотеатров не остановили тотальный переход на создание звуковых фильмов. Появившиеся новые кинокопии с впечатанным звуком принципиально отличались от старых только наличием звуковой дорожки и размером кадра, что позволяло смотреть их и в непереоснащённых кинозалах без звука. По такому же принципу в наши дни создаются стереофильмы, которые легко можно смотреть и в обычных кинотеатрах без эффекта стерео. Так же создавалось цветное телевидение – с возможностью адекватного воспроизведения телевизионного сигнала и на старых чёрно-белых телевизионных приёмниках.

Итак, основной творческой задачей первых создателей звуковых фильмов было сказать зрителю: «посмотрите, он синхронно говорит и поёт». Творчество, казалось, отошло на второй план; ни призывы советских режиссёров, ни нежелание таких классиков, как Чарли Чаплин, переходить к съёмке звукового кино не смогло скольконибудь глобально повлиять на процесс. Однако, «король умер, да здравствует король» – творческий аспект проявил себя в новом виде. Уже в первых звуковых фильмах совершались попытки творчески использовать звук. Свисток отправляющегося поезда, сирена, возвещающая о несчастном случае в фильме «Встречный» Эрлмера, симфония шумов рабочего дня в порту в «Дезертире» Пудовкина. Но всё же это – отдельные случаи.

С точки зрения технологии звук требовал, чтобы никакие посторонние шумы не вмешивались при синхронной съёмке говорящих или поющих людей. Нужна была тихая камера, и камеры стали боксировать. Теперь это был не маленький удобный «Дебри», а огромное, неповоротливое, очень тяжёлое и очень неудобное в использовании сооружение на специальном огромном штативе на колёсиках. На первых порах оператора с камерой иногда даже заключали в стеклянную будку вроде телефонной. Киносъёмки перенесли в павильоны, обитые специальным материалом для звукоизоляции. Живая, настоящая натура стала заменяться в фильмах выстроенными в помещении декорациями с рисованным фоном или фоновой рир-проекцией. Первые звукоинженеры с их людоедскими требованиями записи звука вызывали такое раздражение у творческих работников, что некоторое эхо его можно ощутить иногда и в наше время, в рассказах операторов старшего поколения, которые, однако, в эту эпоху уже не работали. Интересно смотреть и первые звуковые фильмы, например «Путёвка в жизнь». Способы съёмки разных частей фильма отличаются в зависимости от присутствия одновременной записи звука.

В прошлое ушли динамичные съёмки с проезда, с крыши, как и возможность компоновать кадр точно по замыслу, глядя на плёнку как на матовое стекло. Сквозной контроль по плёнке на киноаппаратах заменил параллаксный визир – при определённой настройке он почти (!) правильно показывал то, что будет снято на плёнку. Но малейшие сдвиги, панорамы, и даже активное хождение актёров внутри кадра по направлению и от камеры было ограничено – утеряна возможность быстрого контроля этого движения, невозможно мгновенно уточнить композицию кадра, невозможно быстро уточнить фокусировку объектива. Все эти факторы намертво прибили киноаппарат к полу павильона, первое время лишив его даже панорам по штативной головке.

Изменился монтаж – планы стали намного длиннее, а монтажные переходы соответствовали скорее «технической» необходимости показать действующего в данный момент актёра, чем творческой задаче.

Малочувствительная плёнка, некачественная оптика, работа в павильоне вынуждала работать с огромным количеством искусственного света. В основном, это были «ДИГи» (Дуга интенсивного горения). Характерный световой рисунок этих приборов – направленный луч света – создавал стилистику изобразительного решения фильмов того времени.

Несмотря на трудности, творчество не стояло на месте. Большое развитие получили комбинированные киносъёмки. Операторы придумывали способы воссоздать на экране ощущение реальной природы – дымы Андрея Москвина, тюли, ощущение живой реки, которое создавали умело расклеенные на фоне золотинки, мерцающие под динамичным светом от осветительных приборов Михаила Кириллова. Творчество отвоёвывало свои позиции, и в эту особую эпоху кино, где технология так сильно опре-

деляла производственную и творческую составляющую, появляются свои шедевры, своя особая изобразительная эстетика, ничуть не менее выразительная, чем какая-либо другая. В данной стилистике операторы доводят до совершенства те средства, которыми обладают – композицию, освещение, передачу глубины изображения, драматургию света. В этой изобразительной эстетике отточенной композиции кадра, своеобразного светового рисунка, чёткой выстроенности статичного изображения родились свои шедевры. Такая отточенность есть в фильме «Повесть о настоящем человеке» (режиссёр Александр Столпер, оператор Марк Магидсон, 1948 г.). Другой выдающийся фильм – «Гражданин Кейн» (1941 г., режиссёр Орсон Уэллс, оператор Грег Толланд).

### Советское кино «оттепели» и после неё. «Новая волна»

Творческий процесс шёл не только по пути развития эстетики статичного и уравновешенного кадра, спокойной камеры. Он искал иную эстетику, стремился к коренному перелому в пользу большего жизнелюбия. Таким революционным переходом в советском кино стал период «Оттепели», а до него революция произошла в итальянском кино, где появилось направление, названное «Итальянский Неореализм».

Свою роль в приходе новой эстетики итальянского кино сыграл экономический фактор. После военных действий во время второй мировой войны большинство кинопавильонов было разрушено, кинематографисты были вынуждены выйти с кинокамерами на реальную натуру города. Но вряд ли они желали иного, их творческий порыв был направлен на борьбу с окостеневшим в своей искусственности идейно и изобразительно кино фашистской Италии. Творческий аспект был столь силён, что временами на втором плане оставался аспект технологический. У кинематографистов послевоенной Италии зачастую не хватало финансовых, а с ними и технических возможностей, и в натуральных съёмках мы можем видеть кадры, снятые довольно некачественно, может быть, на репортажную камеру вроде «Аймо» с плохим стоянием кадра и попадающим при съёмке мусором. Однако зритель, к тому времени пресытившийся чистой, безупречной картинкой фильмов так называемых «Белых телефонов», не только прощал эти огрехи, но даже получал удовольствие от такой документальной съёмки, которая давала ощущение настоящей, близкой ему жизни.

Переход к изобразительной эстетике «Оттепели» в советском кино предвещало развитие техники. Постепенно развиваются различные способы перемещения камеры – особенно на операторской тележке. Разрабатываются удобные звукозаглушающие боксы, дающие оператору больше возможностей доступа к снимаемому изображению и, соответственно, его контролю. После войны появляются кинокамеры, звукозаглушающим боксом которых служит сам корпус – первой советской камерой была «Москва». Появляются и трофейные «Аскании»

и «Аррифлексы». И, наконец, с 1951 года выпускается кинокамера «Родина» с зеркальным обтюратором, ставшая самой популярной кинокамерой среди советских кинематографистов. Зеркальный обтюратор позволяет оператору видеть, как в старых «Дебри», именно тот кадр, который будет снят на плёнку, точно отслеживать композицию кадра и фокус. Зеркальный обтюратор дал возможность в будущем широко использовать объектив с переменным фокусным расстоянием (трансфокатор). К слову об оптике – её развитие тоже имело значение. Будучи весьма не светосильной в 30-х годах (такой же важный фактор киносъёмочного процесса, как и чувствительность плёнки), она постепенно улучшает свои характеристики. Повышается не только её качество и светосила, но и разнообразие. Если в 30-40-ые годы в линейке оптики основными объективами были 28, 35, 40 и 50 мм, дающие так называемое «нормальное», привычное человеческому глазу изображение пространства, предметов и людей, то теперь появляются сверхширокоугольные и длиннофокусные объективы, которые меняют привычную перспективу изображения. Вряд ли можно представить себе глубинный и сложный кадр прохода Вероники в сцене прощания с уходящими на фронт солдатами в фильме «Летят журавли», если бы не появившийся к тому времени широкоугольный 18 мм объектив. А появившаяся ручная камера и вовсе совершает революцию в кинематографе. Помимо упомянутых «Журавлей», не обошлись, к примеру, без ручной камеры такие картины, как «Война и мир», снятая Анатолием Петрицким (режиссёр Сергей Бондарчук, 1965-1967 гг.), «Анна Каренина», оператор Леонид Калашников (режиссёр Александр Зархи, 1967 г.). Техническая необходимость в малошумной камере, творческое требование ручного, лёгкого киноаппарата приводят к созданию тихих плечевых кинокамер, например, «Аррифлекс БЛ» (1972 г.).

Важным в развитии кино была эволюция киноплёнки. Влияние появления цветной плёнки на творческий процесс очевидно, но помимо этого, постоянно увеличивалась чувствительность киноплёнки, что позволяло использовать всё меньше искусственного освещения и дало оператору возможность снимать только с естественными источниками света – например, как это делал Леван Пааташвили на съёмке фильма «Сибириада», пользуясь для создания эффекта огня на лицах людей настоящим огнём от факела. Или как это делал Павел Лебешев в «Неоконченной пьесе для механического пианино» в сцене вечернего застолья. Повышение светочувствительности киноплёнки привело к заметному изменению подхода к киноосвещению. Если раньше в условиях недостаточной освещённости, например в естественных интерьерах, приходилось применять значительную дополнительную подсветку, что часто делало световой рисунок условным, то теперь появилась возможность снимать с минимальной подсветкой или вообще без неё (эти приёмы наиболее активно разрабатывались в «Новой волне» французского кино). В результате характер освещения – сначала в чёрно-белом, а затем и в



Киносъёмка с управляемой модели вертолёта



Операторский кран мобильного базирования АВТОРОБОТ

цветном кино, стал менее условным. Этому способствовали и новая оптика, линейка объективов не только расширилась, но сами объективы стали более светосильными и имели неплохие характеристики на открытых диафрагмах. В советском кино выросло целое поколение операторов, снимавших на открытой диафрагме и стремившихся к минимальной подсветке для достижения максимальной реалистичности изображения.

Возвращаясь к оттепели – не случайно в этот период в кино появилась документальная стилистика. Закончилась война, во время которой огромное количество операторов снимали на фронте преимущественно ручной камерой, чаще всего «Аймо». Сергей Урусевский, также работавший с «Аймо» на фронте, взялся за «Конвас». Даже в отношении тех молодых операторов, что не прошли войну, можно сказать, что свой опыт запечатлённого живого изображения они, наверняка, получили в кино-театрах, просматривая кинодневники с полей сражений.

В 1953 году на экраны вышел фильм «Звезда» (режиссёр Александр Иванов, операторы Сергей Иванов и Владимир Рапопорт), снятый ещё в 1949 году. В фильме много органично снятых эпизодов с говорящими людьми, движение камеры позволяет осуществить внутрикадровый монтаж. Оператору удаётся добиться очень точного следования за героями в кадре, что возможно только при сквозном контроле изображения. Кинокамеры «Родина» ещё не было, возможно, операторы пользовались трофейным «Аррифлексом». Позже в этой стилистике появились фильмы Марлена Хуциева, например, «Два Фёдора» (оператор Пётр Тодоровский, 1958 г.), который начинается с совершенно похроникальному снятых динамичных кадров поезда с едущими с войны солдатами. Мелькают выгоны, бегут с цветами люди, динамику усиливают острые ракурсы и мелькающие опоры моста. Всё здесь как будто бы снято с помощью доброго друга любого оператора-фронтовика – маленькой, но надёжной ручной «Аймо».

Во Франции тем временем пришло новое поколение кинематографистов под общим названием «Новая волна». Их появлению немало способствовала политика французского правительства, которое начало поддерживать низкобюджетное авторское кино, в результате в

1958–1962 гг. дебютировали сотни режиссёров. Таким образом проявил себя экономический аспект. В кинопроизводстве, как было сказано выше, появляются высокочувствительная киноплёнка, лёгкая и недорогая съёмочная и звукозаписывающая аппаратура, что позволяло без особых трат снимать в естественных интерьерах. В этом проявлялся технологический аспект, влияющий на экономический и творческий. Кинематографисты «Новой волны» стремились к коренному перелому кинематографического языка, Годар кричал на площадке: «снимай как можно проще», в его фильмах мы можем видеть получивший в будущем большое распространение приём дрожащей, репортажной камеры. Вряд ли такой приём был бы возможен со студийным вариантом кинокамеры времён прихода звука в кино.

### Видеоконтроль. Новая съёмочная техника

В семидесятые годы в кинокамерах появляется и постепенно совершенствуется видеоконтроль. Обладая довольно плохим изобразительным качеством первое время, он начал понемногу менять производственный процесс. Если раньше единственным человеком, который видел снимаемый кадр, был оператор, теперь эту возможность получил не только режиссёр, но и вся съёмочная группа. Многие режиссёры, особенно по мере роста качества видеоконтроля и мониторов, вплоть до мониторов класса высокой чёткости в наши дни, полюбили эту возможность и пересели за мониторы. Вслед за ними последовали многие операторы. Сложно судить о важности влияния этого нововведения, одни режиссёры «живут» возле монитора, другие к нему практически не подходят. Наверняка можно сказать только, что такой тип производства даёт режиссёру больше возможностей для контроля всего, что происходит на площадке. А оператор смог покинуть своё историческое место возле киноаппарата, уступив его ассистенту и всецело посвятив себя контролю за изобразительным решением фильма в целом, не загружаясь конкретными жизненными вопросами, как провести панораму, снять с рук или со «Стедикама», и т.п.

Видеоконтроль дал толчок к развитию огромного количества съёмочной кинотехники. Без видеоконтроля не возможен «Стедикам» – система съёмки с движения, за-



Цифровая камера RED ONE

метно потеснившая классическую операторскую тележку. Появились краны с дистанционно управляемыми головками. Краны, которыми пользовались операторы раньше – огромные машины, на которых должны были, помимо небольшой камеры, размещаться ещё два человека – оператор и его ассистент. Теперь достаточно разместить на кране камеру, изображение с видеоконтроля по проводу доставляется на монитор, управление головкой ведётся дистанционно. Это дало возможность кранам стать разнообразнее, больше, маневреннее, легче и транспортабельнее. Разнообразие современных кранов невероятно – от небольшого 7–10 метрового крана, которому достаточно двух человек и грузовой «Газели», чтобы снять сюжет в чистом поле, до 25 метрового телескопического крана, который может выдвигаться и перемещаться в пределах павильона в практически любую точку.

Аэросъёмка раньше производилась достаточно сложным путём. Стабилизированная платформа на вертолёте, на которой помещались оператор с камерой, оптическая система для стабилизации изображения порой не давали желаемого результата. Другой способ – установленные на самолётах камеры закреплялись ввёртвую, кадр выбирался приблизительно, съёмка велась вручную, не было ни малейшей возможности поправки, результат мог быть увиден только после проявки. Появление видеоконтроля дало возможность применению гироскопически



Система для цветокоррекции da Vinci

стабилизированной головки, которую можно установить куда угодно. Это может быть вертолёт, кран, или специальная система для съёмки с автомобиля. Наглядным примером изменения характера изображения и способа съёмки может служить актёрская сцена в движущемся автомобиле. В кино 40-х годов это длинный статичный кадр, где на переднем плане в автомобиле сидит человек, а на заднем плане мы видим фоновую рир-проекцию, не отличающуюся особым жизнеподобием. В современном кино камера от среднего плана актёра, снятого через боковое стекло автомобиля, может подняться, перейти на лобовое или на боковое стекло с другой стороны автомобиля или вовсе подняться и выйти на общий план с автомобилем и «бегущим» назад пейзажем. И всё это – на реальной натуре, на серьёзной скорости, и всё это благодаря развитию кинотехники.

Система видеоконтроля приобрела со временем ещё одно качество – помимо передачи изображения по проводам появилась возможность передачи его по радиосигналу. В первую очередь, эту возможность стали использовать операторы системы «Стедикам», полностью избавив камеру от внешних толчков, совершенствуя степень стабилизации. Но это качество дало развитие и другим системам – канатной подвесной дороге, съёмке с дистанционно управляемых авиамodelей, съёмке из точек, где не может находиться человек. Съёмка с авиамodelей использовалась в весьма динамичном фильме «Джеймс Бонд. И целого мира мало», и в фильме «Гарри Поттер. Принц-полукровка», где с творческой задачей не смог бы справиться большой вертолёт – необходимо было пролететь под мостом, по которому шёл поезд. С помощью радиосигнала можно дистанционно управлять процессом запуска и остановки кинокамеры, фокусировкой, трансфокацией объектива.

Канатные подвесные дороги существовали и раньше – подобной пользовался оператор Анатолий Петрицкий в фильме «Война и мир», Сергей Урусевский в «Я – Куба». Но система имела и серьёзные ограничения – собрать её было непросто, самое же главное отличие было в том, что изображение можно было контролировать только умозрительно, лишь примерно представляя себе то, что



Зрители в стереочках

будет снято на плёнку, исходя из опыта оператора. В этой системе могла использоваться только широкоугольная оптика, и движение было достаточно простым и прямым, хотя тоже эффективным.

Итак, лёгкая ручная камера снова, как и в 20-ые годы, раскрепостила операторов, а появившийся видеоконтроль позволил во много раз увеличить эту степень свободы действий. Бурное развитие техники абсолютно изменило эстетику кино, точнее будет сказать – по большей части, кино коммерческого, фильмов, ориентированных на зрителя массового. Съёмка без использования тележки или крана, будь то съёмка фильма, клипа или рекламы, в наше время среди некоторых, особенно молодых, кинематографистов считается чем-то чуть ли не неприличным или, во всяком случае, исходящим исключительно от скудности бюджета фильма. Технологический аспект дал возможность появлению огромного количества экшн-фильмов, динамика вошла и в фильмы практически любого жанра. Зритель совершенно отвык смотреть длинные статичные планы, если только это не президент с новогодним обращением.

### Появление цифрового производства. Digital intermediate

В конце двадцатого века в кино появилась новая технология, названная «Digital intermediate» («DI»), в переводе – «Цифровой интернегатив». Как и в истории со звуком и цветом, технология имела свою предысторию и этапы развития. Она возникла благодаря развитию компьютерной техники и появлению специального кинооборудования – фильм-сканеров и фильм-принтеров. Новая технология заменяла классический плёночный процесс монтажно-тонировочного периода кинопроизводства цифровым. Кино по-прежнему снимали на негатив и показывали фильмы в кинотеатрах с плёнок, но монтаж, цветокоррекция и прочая работа в послесъёмочном периоде осуществлялись теперь с помощью цифровой техники. По сути, эта технология – переходная ступень от классического плёночного кино к кинематографу полностью цифровому. Процесс этот продолжается и в наши дни.

Касательно киносъёмочного аппарата технология «DI» изменила немного. Появилась возможность снимать на более дешёвые 16-мм камеры (благодаря и улучшившимся качествам киноплёнки) и с помощью новой технологии печатать 35-мм фильмокопии. Процесс, вне сомнения, выгодный с точки зрения экономии, но сомнительный с точки зрения технологии, возможно поэтому не получил широкого распространения. Немаловажным последствием для российского кино стало полное исчезновение анаморфотной оптики при том, что почти все кинофильмы ориентированы на показ широким экраном (1:2.35). Это стало возможным, опять же, благодаря тому, что кадр можно было сжать не оптически, а цифровым способом. Но в этом вопросе российское кинопроизводство обладает особой спецификой – в ходе «перестройки» оно практически полностью лишилось

собственного кинооборудования и, соответственно, некоторых традиций. Начав кинопроизводство почти с нуля, оно переняло ту технологию, которая была самой ходовой в других странах. В Голливуде же, напротив, технология кинопроизводства развивалась последовательно, и если говорить об анаморфотной оптике, то она до сих пор с успехом используется в различных кинопроектах (например, свежий фильм 2009 года «Звёздный путь»).

Однако перечисленное выше не является самым главным достижением технологии «DI». Главным достижением правильно было бы назвать цветокоррекцию. Если в классическом кинопроизводстве возможности изменить изображение после съёмки были весьма ограничены, то в технологии «DI» можно делать поистине всё. Появилось такое понятие, как цветовая коррекция под какой-либо фильм. Например, некоторые фильмы, сюжет которых связан с компьютерными технологиями, решают в зеленоватой гамме, как фильм «Матрица» или «Крепкий орешек – 4». А, например, фильмы про вампиров – «Другой мир», «Сумерки», решены в холодном, низком по светлоте ключе. Можно менять контраст, исправлять некоторые ошибки, сделанные во время съёмки. Что, возможно, помимо очевидного блага сыграло и злую шутку с некоторыми молодыми операторами российского кино, не имевшими опыта с этой системой из-за названного выше провала в кинопроизводстве.

Второе важное достижение «DI» – монтаж. О том, что даёт цифровой монтаж по сравнению с классической склейкой двух позитивных плёнок, можно написать ещё целую статью, да, наверное, и не одну. Третье достижение – компьютерная графика. От чистки и доработки классических комбинированных и обычных съёмок (стереть страховочные тросы, подчистить огрехи макетов) до создания с нуля среды и героев фильмов, полностью нарисованных на компьютере. Впрочем, совершенно новой эту технологию назвать сложно. Полностью взятая из воображения среда и герои существовали и в классическом кино, сделанные, например, с помощью комбинированных съёмок. Но никогда ещё мир кино не был взят из воображения на все 100%. Совсем недавно появились такие фильмы, как «Последняя фантазия», «Полярный экспресс», «Беовульф», «Рождественская история» и, наконец, последний вышедший фильм – «Аватар». Кино, где каждый кадр сделан при помощи компьютерной графики. В свете серьёзного технологического отличия создания этих фильмов от чего-либо другого ранее, создатель большинства из них режиссёр Роберт Земекис даже потребовал отдельной номинации «Оскар» для подобного типа фильмов. Для нас же эти фильмы интересны тем, во что превратился в их производстве съёмочный аппарат. В новой технологии множество камер производят захват движения игры актёров, которые в дальнейшем во время цифровой обработки могут претерпеть значительные внешние изменения, исходя из замысла режиссёра. Захваченное изображение показывает актёра сразу со всех сторон, и движение камеры можно придумать уже позже,

причём это может быть абсолютно любое движение. Режиссёр, по сути, сам становится оператором. Логически это может быть следующим после появления видеоконтроля этапом для возможности контролирования изображения режиссёром. Однако технологически это новое направление пока может похвастаться слишком маленьким количеством фильмов для сложившейся производственной технологии. Она не имеет чёткого набора инструментов, меняющихся от фильма к фильму. Хотя творчески даёт просто фантастические возможности для режиссёров. Но экономически данный способ производства не просто дорог, а безумно дорог, так что вряд ли получит распространение в ближайшие годы.

### Цифровое кино. Россия, наши дни

Как сказано выше, технология «Digital intermediate» может быть переходной от классического плёночного производства к производству полностью цифровому. Цифровых кинотеатров по всему миру становится всё больше, и длившаяся годами дискуссия об уходе плёнки и приходе цифрового кино, наконец, начинает обретать смысл. Появились цифровые съёмочные аппараты, которые стали использоваться для съёмки фильмов, предназначенных для кинотеатрального показа. Начало положили фильмы, снятые на камеру «Синеальта Ф900». Эти ранние фильмы логичнее отнести к влиянию скорее творческого аспекта, чем технологического. Особой изобразительной эстетикой хотели выделить создатели «Видок» свой фильм на фоне других. Джордж Лукас, мечтавший о технологии, в которой можно удобно работать с компьютерной графикой, с жадностью ухватился за едва вышедшую первую камеру высокой чёткости и, для соблюдения условий технологии, создал для неё специальную оптику. Алексей Учитель, исходя из творческой задачи раскрепостить камеру, снял на видео свой фильм «Прогоулка», который, несмотря на некоторые уступки технологии, вышел на большие экраны и имел успех у зрителя. И вот, наконец, появляются цифровые аппараты, о которых можно говорить (именно говорить!) как о способных удовлетворить технологии кинопроизводства. Стоит вспомнить, что технология – это качество кинотеатрального показа (критерием которого в российском кино, за неимением советских стандартов, можно считать удовлетворённость зрителя или кинопрокатчика), это способность камеры без «капризов» и проблем работать на площадке и выдавать материал, с которым также без проблем можно будет работать в монтажно-тонировочном периоде. Пусть в отношении цифровых аппаратов – это уже не стояние кадра, пыль и грязь, но принцип удовлетворения потребностей производства остаётся.

Итак, кинопроизводство обогатилось цифровыми камерами, такими как «Дальса Ориджин», «Дженезис», «Арри Д-20» и «Д-21», «Силикон Имеджин», «Кинор». Событием в мире кинотехнологии стало появление цифровой камеры «Ред». Событие это правильнее всего отнести к аспекту экономическому, так как эта новая цифровая камера оказалась намного дешевле как её

цифровых аналогов, так и классических киноплёночных камер. На фоне мирового экономического кризиса этот факт обрёл такой вес, что за считанные месяцы камера «Ред» появилась на многих съёмочных площадках, снимающих кино для показа в кинотеатрах. Никто не способен с точностью предсказать дальнейшее развитие кинотехнологии и киноискусства в целом. Но уже можно отметить некоторые факты и попробовать логически осмыслить происходящее с целью понять направление движения развития кино.

Цифровые камеры стали одним из инструментов в создании весьма популярного эстетического направления современного кинематографа. Суть его в подражании репортажным телевизионным съёмкам, исходя из того же стремления к жизнеподобию. Эту цель преследовали операторы, снимающие с эффектом живой, репортажной камеры. С приходом цифровых камер, удовлетворяющих кинотехнологии, их стали использовать для создания на киноэкране подобия телеизображения. Это, например, фильмы «Миллионер из трущоб» и «Район № 9».

Другое важное преимущество цифровых камер – возможность снимать очень длинные планы. В этом есть возможности для творческого аспекта производства фильмов. Немаловажно отметить ещё одно преимущество съёмки на цифровую камеру – при грамотном её использовании она требует намного меньше времени на замену кассеты (накопителя информации). Что даёт ей преимущество с точки зрения технологичности киносъёмки перед плёночными камерами.

Если говорить о современном российском кино, похоже, что здесь довлеет аспект экономический. Бюджеты фильмов, и без того не сравнимые с голливудскими, упали. Дебютанты, молодые кинематографисты, а иногда не только они, готовы снимать на что угодно, лишь бы снимать. Таким банальным образом для многих заканчиваются диспуты о том, что лучше – цифра или плёнка. Возможно, технологическому и творческому аспекту в вопросе художественного потенциала и качества изображения на некоторое время придётся сдать свои позиции и раньше времени перейти к новой технологии, дотягиваясь до необходимого уровня по ходу действия. Так уже было в истории кинематографа, когда качественному цветному кино (система «Техниколор») пришлось сдать свои позиции в пользу худшей по качеству цветопередачи, но технологически простой и экономически более дешёвой трёхслойной киноплёнки, которая лишь через много лет достигла сравнимого уровня цветопередачи.

Однако стоит сказать, что если производство цифровых камер (а также прочего кинооборудования) пойдёт дальше по пути удешевления их стоимости, это может дать шанс малобюджетному, дебютному кино и открыть новые имена, как в «Новой волне», «Итальянском Неореализме», во время «Оттепели», в 20-ые годы советского кино. И те преимущества, что получит творческий аспект, оправдают все технологические неурядицы и экономические трудности. ■



# ЦВЕТНОЙ КИНЕМАТОГРАФ

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



## Аннотация

Данная работа посвящена истории реализованных систем цветного кинематографа, первой из которых в 2009 году исполнилось сто лет. В материале излагаются принципы получения цветного киноизображения. В хронологическом порядке описываются разработанные на основе этих принципов и внедрённые в кинопроизводство в XX веке системы цветного кинематографа с указанием (в большинстве случаев) их разработчиков и первых цветных фильмов, снятых по каждой из них.

**Ключевые слова:** цветной кинематограф, аддитивный, субтрактивный, двухцветный и трёхцветный процесс, цветная фильмокопия, Бипак, Техниколор, Агфаколор.

## Введение

Начало работ по созданию системы для съёмки кинофильмов в натуральных красках относится к первым годам существования самого кинематографа.

Первый патент на цветную киносъёмку был зарегистрирован в Берлине в декабре 1897 года немецким изобретателем Г. Изензее (H. Isensee), ровно через два года после дебюта синематографа братьев Люмьер.

Но, все по порядку.

Известно, что при смешении уже двух спектральных цветов можно получить большое число различных «промежуточных» цветовых оттенков. При сложении в различных пропорциях, например, только зелёного и красного цветов можно получить: чисто зелёный, жёлто-зелёный, жёлтый, оранжевый, оранжево-красный, наконец, чисто красный и другие оттенки, за исключением синего цвета.

## COLOR CINEMA

N. Majorov

## Abstract

The given work is devoted history of the realised systems of a colour cinema, first of which in 2009 was executed hundred years. In a material principles of reception of the colour film image are stated. In a chronological order are described developed on the basis of these principles and introduced in film production in the XX-th century of system of a colour cinema with instructions (in most cases) their developers and the first colour films which have been removed on each of them.

**Keywords:** a Colour Cinema, Additive Colour Process, Subtractive Colour Process, Two-coloured and Three-coloured process, Color Print, BiPack, Technicolor, Agfacolor.

При сложении в различных пропорциях красного, зелёного и синего цветов получаются все видимые цвета и их оттенки.

Знаменитый немецкий физик и физиолог Герман Людвиг Фердинанд фон Гельмгольц (Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz) в середине XIX века определил как два совершенно разных способа получения цветного изображения: аддитивный и субтрактивный. Первый основан на сложении цветов, второй – на их вычитании.

Таблица аддитивного смешения цветов

	Красный	Зелёный	Синий
Красный	Красный	Бледно-жёлтый	Тёмно-розовый
Оранжевый	Красно-оранжевый	Жёлтый	Бледно-розовый
Жёлтый	Оранжевый	Жёлто-зелёный	Белый
Жёлто-зелёный	Золотисто-жёлтый	Жёлто-зелёный	Бледно-жёлтый
Зелёный	Бледно-жёлтый	Зелёный	Аквамариновый
Голубовато-зелёный	Белый	Голубовато-зелёный	Аквамариновый
Голубой	Бледно-розовый	Голубовато-зелёный	Сине-голубой
Синий	Тёмно-розовый	Аквамарин	Синий
Фиолетовый	Пурпур	Бледно-синий	Сине-фиолетовый

В аддитивных способах цветное изображение получалось путём совмещённой проекции чёрно-белых цветоделённых изображений, проходящих отдельно через синий, зелёный и красный светофильтр в трёхцветных системах, или через зелёный (сине-зелёный) и красный – в двухцветных системах.

Надо заметить, что в результате аддитивного смешения получаются более чистые цвета, чем при субтрактивном смешении цветов.

В субтрактивных способах образование цветного изображения происходит в результате поочередного вычитания из белого света, которым освещаются сложенные вместе цветоделённые изображения, окрашенные в дополнительные к соответствующему светофильтру цвета.

Дополнительными называются любые сложенные вместе два цвета, дающие при просмотре их на просвет белый свет.

#### Таблица дополнительных цветов

Основной цвет	Дополнительный цвет
Красный	Голубовато-зелёный
Оранжевый	Голубой
Жёлтый	Синий
Жёлто-зелёный	Фиолетовый
Зелёный	Пурпурный
Голубовато-зелёный	Красный
Голубой	Оранжевый
Синий	Жёлтый
Фиолетовый	Жёлто-зелёный

В трёхцветных системах сине-фильтровое окрашивает в жёлтый цвет; зелёное – в пурпурный, красное – в голубой. В двухцветных системах цветоделённые изображения окрашиваются в цвета, дополнительные к цветам светофильтров: красный – в голубовато-зелёный цвет, зелёный – в пурпурный.

#### Двухцветные аддитивные процессы кинемаколор – пионер цветного кино

В 1906 году Джордж Альберт Смит (George Albert Smith) запатентовал двухцветный аддитивный метод цветного кинематографа, который был принят в коммерческую эксплуатацию под именем «Kinemascolor» (Кинемаколор).

Впоследствии Джордж А. Смит рассказывал, что в течение четырёх лет он работал со съёмочной камерой «Биоскоп» Чарльза Урбана (Charles Urban) при скорости 32 кадра в секунду, и созданная им система является первым экспериментом в области цветной кинематографии и первой серьёзной демонстрацией работы, сделанной в этом направлении.

6 декабря 1907 года «Британский фотографический журнал» (British Journal of Photography) опубликовал следующее сообщение:

«Мы имели случай видеть результаты, полученные мистером Смитом в цветной кинематографии, и хотя здесь ещё много чего можно пожелать, всё же надо признать достигнутое очень удачным. Мы сравнивали цвета проецируемых картин с действительными цветами и считаем, что передача цвета очень точная, особенно передача красных тонов. При съёмке и проецировании употреблялись только два фильтра – оранжево-красный и сине-зелёный, обычно же употребляемый третий фильтр, сине-фиолетовый, здесь опущен. Конечно, цвета не вполне чистые – имеют лёгкий желтоватый оттенок, но при проецировании на экран вместе с яркими цветами этот дефект почти незаметен. Достигнутый успех столь значителен, что мы готовы ручаться, что процесс очень скоро станет коммерчески эксплуатироваться».

По системе «Кинемаколор» съёмка производилась на чёрно-белую плёнку через вращающиеся перед объективом на специальной турели перемежающиеся красный и зелёный светофильтры с частотой 32 кадра в секунду. Таким образом получалось 16 пар цветоделённых чёрно-белых изображений.

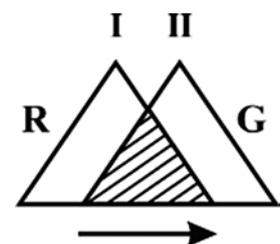
Проекция велась с удвоенной скоростью, так же через красный и зелёный светофильтры.



Двухцветный позитив «Кинемаколор» и цветное изображение с него при проекции на экран

Применение двух цветов частично уменьшало временной параллакс и цветную кайму, хотя и ограничивало количество передаваемых цветов и приводило к искажённой цветопередаче некоторых из них. Но сам изобретатель 9 декабря 1908 года на лекции в Королевском обществе искусств заявил, что два цвета могут дать тот же эффект, что и три. В подтверждение этого были продемонстрированы двухцветные съёмки лодочных гонок и сцены уборки урожая.

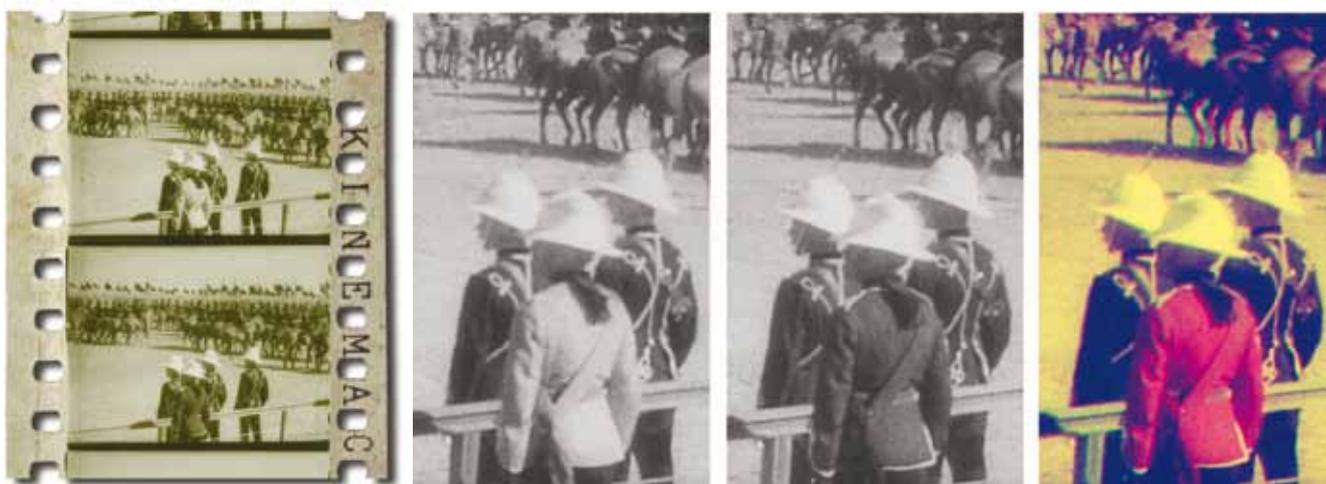
#### Временной параллакс



Временной параллакс возникает во всех способах цветного кино, основанных на последовательной проекции цветоделённых кадров, и является их основным пороком.

Рассмотрим процесс образования цветного контура из-за временного параллакса. Обозначим снимаемый объект треугольником, который движется по указанному стрелкой направлению вправо. Цифра I – положение объекта, занимаемое им в момент, когда экспонируется первый кадр через красный фильтр. После того как плёнка продвинется на один кадр и перед объективом остановится зелёный фильтр, снимаемый объект передвинется вперёд и займёт положение, обозначенное цифрой II. Во время проекции на экран этих цветоделённых изображений последовательно через соответствующие светофильтры глаз будет воспринимать эти последовательные фазы движения объекта как непрерывное движение. В пределах заштрихованного участка, где изображения пе-

вым тёмно-серым цветом. При проекции на экран таких кадров через соответствующие светофильтры разница в плотности одноимённых частей кадра выступает фильтром к количеству пропускаемых на экран лучей зелёного и красного света, которые и образуют на экране в результате аддитивного синтеза цветное изображение. Одинаковая плотность чёрных камзолов на обоих кадрах задерживает красные и зелёные лучи в одинаковых количествах, которые, смешавшись, создают на экране цвет, близкий к чёрному. А почти прозрачное изображение красного камзола на «красном» позитиве свободно пропускает свет красного светофильтра на экран, в то время как через зелёный фильтр проецируется через серое изображение этого камзола, то есть срезается значительная часть зелёного цвета. В такой пропорции проекция красного и зелёного света воспроизводится на экране как почти чистый красный цвет.



**Двухцветный позитив «Кинемаколор» и цветное изображение с него при проекции на экран**

рекрывают друг друга, будет происходить синтез цветов, и изображение будет восприниматься цветным. Но слева от объекта останется красная кайма, а справа – зелёная, хорошо запоминающиеся глазом. При следующем продвижении плёнки на один кадр объект так же передвинется, и кайма поменяется местами: слева будет зелёная, а справа красная. При быстром чередовании кадров эти цветные каймы создают эффект мелькания радужных полос. Чем больше скорость объекта – тем больше их ширина, и наоборот. Понятно, что при трёхцветной съёмке этот эффект усиливается.

При съёмке же неподвижного объекта совмещение отдельных кадров при проекции будет полным, соответственно цветная кайма образовываться не будет.

На увеличенных фрагментах цветоделённых кадров хорошо видны отличия одного и того же изображения, снятого через красный и зелёный фильтр. Красный камзол воспроизводится почти белым на «красном» кадре и серым на «зелёном» кадре. Чёрные камзолы на обоих цветоделённых кадрах воспроизводятся почти одинаково-

26 февраля 1909 года началась коммерческая эксплуатация системы «Кинемаколор» в лондонском «Palace Theatre of Varieties».

Программа первого киносеанса состояла из 21 цветного фильма.

5 марта 1909 года «Британский фотографический журнал» (British Journal of Photography) сообщил:

*«Включение в программу театра «Варьете» смитурбановской цветной кинематографии обозначает новую эру в применении фотографии. Просмотры в помещении Компании Урбана и недавно в Королевском обществе искусств показали значительный успех применённого метода, и похвалы специалистов были повторены с ещё большим энтузиазмом прессой и широкой публикой, смотревшей фильмы в прекрасном театре в Кембридж-Циркус. На этих демонстрациях широкая публика ознакомилась с последним триумфом кинематографии».*

Несмотря на все недостатки, успех первой системы цветного кинематографа был бесспорным, о чём свидетельствует тот факт, что система была запатентована десятком стран на всех континентах и успешно эксплуатировалась почти десять лет.

Первый патент на «Кинемаколор» вне Великобритании был получен в США в июне 1907 года. Первая публичная демонстрация в США состоялась 11 декабря 1909 года в Мэдисон Сквер Гарден (Madison Square Gardens) в Нью-Йорке (New York).

Второй патент был получен во Франции 22 августа 1907 года. А 8 июля 1908 года на специальной выставке в Париже для членов Института гражданских инженеров прошла его первая демонстрация.

Первая демонстрация программы фильмов «Кинемаколор» для немецких зрителей прошла в Берлинском Саду (Berlinischen Garten) в июне 1909 года.

В России с августа 1910 года проходили регулярные демонстрации цветных фильмов по системе «Кинемаколор». 16 августа 1910 года в журнале «Сине-фоно» было опубликовано следующее сообщение:

«Санкт-Петербург. В одном из вновь выстроенных зданий «Скетинг-ринка» демонстрировались фильмы, «изготовленные в натуральных цветах по способу Урбана. Фильмы произвели на зрителей очень выгодное впечатление».

В связи с началом эксплуатации системы в России, начиная с 27 октября 1910 года в Санкт-Петербурге начал издаваться Еженедельный журнал синематографии и общественной жизни «Кинемаколор» под редакцией В.А. Забелина.

Российские зрители и пресса с восторгом отзывались о новой системе цветного кинематографа. В

подтверждение этому приведём фрагмент статьи из журнала «Кинема» за 1915 год:

«Вопрос о цветной синематографии можно считать решённым.

В театре Акц. Общества А. Ханжонковъ и К<sup>о</sup>» демонстрируется теперь серия снимков, сделанных в натуральных цветах. Это не раскраска более или менее совершенная, которую мы видели и раньше, а нечто совсем необыкновенное.

Кинематограф сделал громадный шаг вперёд; это не чёрная природа, а живая, переливающаяся всеми оттенками, залитая подлинным ослепительным солнцем.

На экране появляется рекламная надпись, обещающая картины, снятые в красках, и в зрительном зале слышится недовольный ропот.

Ничего нет хуже этих кинематографических раскрашенных картин, в которых небо и вода бывают обозначены одинаковой голубой анилиновой полоской, и фигуры

покрыты бесформенными цветными пятнами. Уж лучше пускай обычные чёрные снимки.

Красные мундиры. Смотр английских войск. Настоящая цветная движущаяся фотография.

У неё нет ровно ничего общего с картинами, раскрашенными от руки.

На экране, в левом нижнем углу, виден раскрытый ярко-изумрудный зонтик. Окутанная лиловой дымкой опушка далёкого леса.

И между этими двумя пятнами движется красочная феерия: кирасиры в пернатых касках, шотландцы в кирпично-красных куртках, зеленовато-серые хоботы орудий.

И это переливается всеми цветами радуги. Мы уже не перед экраном, а за окном; мимо нас проходит пёстрая и ослепительная жизнь.

Настоящая вакханалия красок начинается с появлением индусских раджей, восседающих, как идолы, в парчовых



Анонс первой в России демонстрации программы цветных фильмов по системе «Кинемаколор» в первом номере одноименного журнала (1910)

палатках на спинах огромных, разукрашенных золотом и драгоценными камнями, слонов.

Но ещё лучше сухопутных видов выходят в цветной синематографии морские виды. Маневры английского флота: море играет и светится, и переливается тысячью

оттенков. Промчалась торпедная лодка с красно-белым флагом, выпустила мину, и она летит, ныряя в волнах, и огонь трепещет в какой-то выемке на её спине.

*Мостик флагманского судна; покрытые золотым шитьём мундиры. Это отдельные, не связанные никаким единством, никакой кинематографической интригой, моменты, и всё-таки внимание зрителей не ослабевает ни на минуту.*

*Все эти цвета, меняющиеся и переходящие один в другой, точно в калейдоскопе, очаровывают гораздо сильнее, чем самая запутанная, самая раздражительная кинематографическая драма».*

Первая демонстрация цветных фильмов по системе «Кинемаколор» в Канаде прошла 24 февраля 1913 года в Кинемаколор Театр Ванкувера (Vancouver's Kinemacolor Theatre).

11 июня 1913 года в Ватикане состоялся просмотр программы фильмов «Кинемаколор» папой Римским Пием X (Pius X).

В августе 1913 года Император Японии Иосихито просмотрел трёхчасовую программу «Кинемаколор» и с 1 октября 1913 года началась коммерческая демонстрация этой программы в «Кири-Кан» в Асакусе в Токио (Kirin-kan in Asakusa, Tokyo). С 1913 по 1917 годы японские кинематографисты сняли несколько десятков цветных фильмов. Последний японский фильм «Saiyū ki Zokuhen» по системе «Кинемаколор» был выпущен в японский прокат в июле 1917 года.

Цветные фильмы и программы по системе «Кинемаколор» в 10-е годы двадцатого века с успехом демонстрировались также в Бельгии, Бразилии, Голландии, Италии, Люксембурге и Швейцарии.

Компанией «Natural Colour Kinematograph Co.» Чарльза Урбана было снято несколько сотен цветных фильмов как игровых, так и документальных, о чём свидетельствует «Каталог фильмов Кинемаколор. Живые сцены

в их натуральных цветах. 1912–1913» («The catalogue of Kinemacolor film subjects. Animated scenes in their actual colors. 1912–1913»).

Выделим некоторые из них.

В ноябре 1910 года на экран был выпущен первый в мире цветной игровой короткометражный фильм «BY ORDER OF NAPOLEON» (По приказу Наполеона).

В ноябре 1910 года был выпущен первый в мире цветной научно-популярный фильм «THE BIRTH OF A FLOWER» (Рождение цветка) пионера научного кинематографа Ф. Перси Смита (F. Percy Smith, 1880–1945), который был снят методом цейтраферной съёмки и демонстрировал

зрителям фантастическую цветную картину рождения цветка. Этот фильм и два других фильма Перси Смита «The Strength and Agility of Insects» (Сила и проворство насекомых) и «From Bud To Blossom» (От зародыша до цветка), снятые в 1910 году, стали первыми в мире научно-популярными цветными фильмами.

Надо заметить, что при цейтраферной съёмке растений временной параллакс практически равен нулю, и цветная кайма не образуется. А так как для съёмки выбирались растения красного, жёлтого, зелёного и близких к ним оттенков, то не возникало искажений при передаче цветов, что создавало полную иллюзию натурального цвета.



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



«Royal Funerals» (Королевские похороны) (1910) – репортаж о похоронах английского короля Эдварда VII (Edward VII) 20 мая 1910 года стал первым выпуском кинохроники в цвете.

С большим успехом в октябре 1912 года в Скала Театре (Scala Theatre) в Лондоне демонстрировался двухчасовой цветной документальный фильм «The Making Of The Panama Canal» (Строительство панамского канала).

В 1913 году в течение нескольких месяцев на экран выходили номера первого цветного киножурнала (cinemagazine) «Fashion Gazette» (Бюллетень моды).

9 апреля 1914 года в Лондоне в Скала Театре (Scala Theatre) состоялась премьера первого в мире цветного полнометражного игрового фильма «THE WORLD, THE FLESH, AND THE DEVIL» (Мир, плоть, и дьявол).

«Кинемаколор» был первой коммерчески успешной системой цветного кино. Многие фильмы, снятые в этой системе, до сих пор представляют не только интерес с точки зрения развития кинотехники, но и как уникальный материал в цвете многих исторических событий начала прошлого века. К сожалению, многие фильмы утеряны, но некоторые из них в виде фрагментов или целиком хранятся в следующих киноархивах мира: Бельгия – Cinematheque Royale de Bet-gique, Brussels, Belgium; Великобритания – Imperial War Museum Film & Video Archive, London, UK National Film and Television/Archive (part of the British Film institute), London, UK; Германия – Stiftung Deutsche Kinemathek, Berlin, Germany; Италия – Cineteca del Comune di Bologna, Bologna, Italy; Нидерланды – Nederlands Filmmuseum, Amsterdam, Netherlands; Россия – Российский государственный архив кинофотодокументов, г. Красногорск; США – George Eastman House, Rochester, USA / Library of Congress, Washington, D.C., USA / National Archives and Records Administration, Washington, D.C., USA / The American Film Institute, Los Angeles, USA; Франция – Les Archives du Film du Centre National de la Cinematographic, Bois d'Arcy, France.



Кадры из фильма «The Durbar At Delhi» (Торжественный приём в Дели) (1912)

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

Чарльз Урбан направил в Индию четырёх кинооператоров «Natural Colour Kinematograph Co.», которые со 2 декабря 1911 года по 8 января 1912 года сняли тысячи

метров цветоделённого киноматериала по двухцветной системе «Кинемаколор» во время коронационных торжеств, которые проходили там с большим размахом с участием английского короля Георга V (King George V), коронованного Императором Индии.

Премьера полной версии фильма прошла 2 февраля 1912 года в Лондоне (London) в Скала Театре (Scala Theatre) под названием «With Our King and Queen through India» (С нашим Королем и Королевой через Индию). Демонстрация фильма продолжалась более двух часов в сопровождении оркестра, хора и отряда барабанщиков, исполнявших специально подобранную музыкальную программу в соответствии с демонстрировавшимися сюжетами.

Полная версия фильма состояла из 22 сюжетов, 7649,85 м (207 мин.)

Фильм стал сенсацией, и долгое время демонстрировался в Англии и других странах мира, как целиком, так и различными частями.

В России картина демонстрировалась не только в Москве и Санкт-Петербурге, но и во многих городах Империи. Центральная и местная пресса печатала восторженные рецензии на этот фильм:

*«Перед Вами развёртывается картина прохождения индийских войск: – европейская военная форма английских солдат сменяется живописными национальными костюмами туземцев; восточные уборы, переливаясь бесчисленными цветами и еле уловимыми оттенками, представляют пёструю картину, доступную обозрению лишь того европейца, который волею судьбы будет переброшен в далёкую Индию».*

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

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

Автором этих строк была проведена компьютерная обработка изображения и сведение цветоделённых позитивов. Для работы по получению цветного изображения был использован 35-мм чёрно-белый цветоделённый контратип-оригинал, хранящийся в РГАКФД – 2

части (243,3+204,3 м). Негативное изображение было инвертировано в позитивное и оцифровано. На первом этапе создания цветного изображения из позитивной копии были выделены все кадры, снятые через красный фильтр и соответственно – через зелёный фильтр. В результате получилось как бы два одинаковых по длине чёрно-белых «фильма», но отличающихся друг от друга тем, что каждый из них является носителем составляющей соответствующего цвета. Каждый из этих «фильмов» был «окрашен» соответственно в красный и зелёный цвет, затем оцифрован в программе «мультиплей», которая как бы выполнила работу кинопроектора с цветными фильтрами, объединив чёрно-белые цветоделённые кадры в один цветной фильм.

Таким образом, удалось получить цветное изображение, соответствующее описаниям очевидцев начала XX века со всеми его достоинствами и недостатками.

Сегодня, благодаря компьютерным технологиям, мы можем посмотреть эти кадры в цвете – так, как их видели зрители в начале прошлого века.

«Кинемаколор» заложил основу развития цветного кинематографа, и его коммерческий успех подтолкнул изобретателей и кинопромышленников к продолжению разработок в этой области. Двухцветные и трёхцветные аддитивные процессы цветной кинематографии разрабатывались, а многие из них эксплуатировались вплоть до конца 40-х годов XX века. Ниже описываются некоторые из них.

### BIOCOLOUR (Биоколор)

В 1908 году была образована компания «Фрейз-Грин Патент» (Frieze-Greene Patente company). В этом же году Фрейз-Грин оформил патенты на двухцветную аддитивную систему «Биоколор». По этой системе негативы снимались последовательно через красный и зелёный фильтры при скорости 32 кадра в секунду, как и в системе «Кинемаколор». Но при проекции вращающийся диск с цветными фильтрами не применялся, а попеременно в красный и зелёный цвета окрашивались кадры чёрно-белой копии.

В 1914 году по этой системе был снят первый игровой фильм «The Earl Of Camelot» (Граф Камелот).

### PRIZMA (I) (Призма I)

Систему разработал Вильям ван Дорин Келли (William van Doren Kelley) в 1913 году.

Съёмка и проекция производятся так же, как и в системе «Kinemasolor», но с использованием красно-оранжевого и сине-зелёного фильтров.

Первый цветной документальный фильм по двухцветной аддитивной системе «Prizma Color» – «OUR NAVY» (Наш флот) выпущен на экран 23 декабря 1917 года.

### NATURALCOLOR / DOUGLASS COLOR (Натуралколор / Дуглас Колор)

Разработал Леон Форрест Дуглас (Leon Forrest Douglass) в 1918 году.

16 июня 1918 года в Сан-Франциско (San Francisco, California) прошла премьера первого цветного игрового фильма по системе «Naturalcolor» «CUPID ANGLING» (Укус Купидона).

### CINECHROME (Синехром)

Разработал Колин Беннетт (Colin Bennett) в 1914 году. Съёмка производится на 70-мм киноплёнке. Оба цветоделённых изображения располагаются рядом и имеют нормальные размеры. Плёнка, производившаяся фирмой «Кодак», перфорировалась не только по краям, но



Двухцветный позитив на киноплёнке «Кодак» двойной ширины с центральной перфорацией для аддитивной цветной проекции по системе «Синехром» применялся с 1921 по 1925 год

и в середине. Оптическая система камеры «Синехром» состояла из двух линз, которые помещаются позади призмы, делящей лучи изображения. Для демонстрации фильмов был разработан специальный кинопроектор с широким кадровым окном.

Первый цветной фильм по системе «Cinechrome» «Prince of Wales in India» (Принц Уэльский в Индии) был снят в 1921 году и выпущен на экран в 1922 году.

В этом же году один из совладельцев фирмы «Синеколор» организовал демонстрацию этого фильма в пользу Красного креста во Франции. Успех был настолько велик, что французское правительство учредило «Синдикат по национальной пропаганде фильмов в натуральных цветах».

**CINECOLOR (Синеколор) (Великобритания)**

Разработан лондонской компанией «Dufay-Chromex, Ltd.» (Дюфей-Хромекс Лтд.) в 1925 году.

Оптическая система состояла из призмы, помещённой перед двумя объективами, делящей луч от основного объектива. Таким образом, съёмка двух цветоделённых изображений не имела временного и пространственного параллакса.

Съёмка производилась на стандартной 35-мм киноплёнке с размещением двух цветоделённых изображений в пределах площади обычного кадра. В первом варианте кинокамеры «Cinacolor» изображения поворачивались на 90°, как в системе «Busch Color».

Во втором варианте кинокамеры «Cinacolor» пары изображений располагаются в пределах площади нормального кадра друг над другом, так же как, например, в системе «Рейкол». Размер каждого цветоделённого изображения – 24х9 мм.

Для проекции применялись два объектива, соединённые системой призм, в которой одна часть (подвижная) давала возможность передвигать один луч относительно другого для получения точного наложения цветоделённых

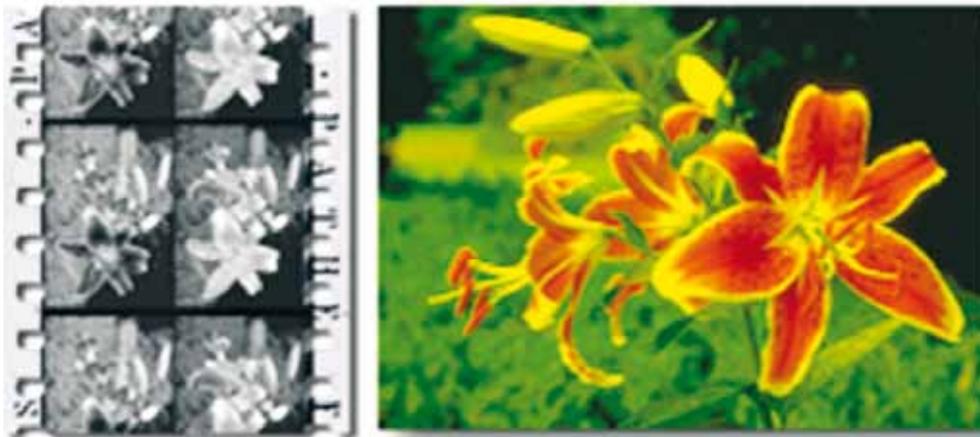
изображений на экране. Цветные светофильтры были сделаны из стекла, чтобы они могли противостоять высокой температуре.

**BUSCH COLOR (Буш Колор)**

Разработан «Emil Busch Optical Co., Ltd., London» (Оптическая компания Эмиля Буша, Лондон) в 1928 году.

Съёмка производится на стандартной 35-мм киноплёнке с размещением двух цветоделённых изображений в пределах площади обычного кадра, так что длинные стороны кадров располагаются вдоль по длине плёнки. Для этого система призм поворачивает изображения на 90°. Пучок света делится полупрозрачным отражающим слоем двойной призмы, и пройдя отдельно, через красный и зелёный светофильтры, образует на плёнке два цветоделённых кадра.

Проекция осуществляется кинопроектором со специальной насадкой, которая состоит из двух объективов с соответствующими светофильтрами, причём верхний при помощи горизонтального и вертикального винтов устанавливается так, чтобы цветоделённые изображения совпадали. А система призм поворачивает изображения на 90°. ■



**Позитив «Буш Колор» с цветоделёнными изображениями и цветное изображение с него при проекции на экран**

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. «Вестник кинематографии» М., 1913-1915.
2. «Вечерняя Москва»
3. «Вся кинематография». М., 1916.
4. «Журнал Синема». Ростов на Дону, 1913-1915.
5. «Звуковое кино». Сборник статей. М., 1930.
6. «Кинема-Омниум». Спб, 1913-1915.
7. «Кино-газета». М., 1918.
8. «Московская кинонеделя», М., 1957-1982
9. «Московские новости», М., 1896, 31 мая.
10. «Московский листок», М., 1896, 26 мая;
11. «Новости дня», М., 1896, 7 мая.
12. «Петербургская газета», Спб., 1896, 4 мая.
13. «Русский листок», М., 1896, 7 мая.
14. «Туркестанский курьер», Ташкент, 1911.
15. 30 лет советской кинематографии. Сборник статей, М., Госкиноиздат, 1950.
16. Allbee, Burton H. (1909) Impressions of Kinemacolor films. In: Moving Picture World 5, 25.12.1909, p. 915-916.
17. Bell & Howell Standard Automatic Film Splicing Machines. 1929.
18. Bell & Howell Standard Continuous Film Printers. 1929.
19. Brown, Theodore (1910) My impressions of "Kinemacolor". In: Moving Picture World 6, 28.5.1910, p. 886.
20. Cornwell - Clyne, A. Colour Cinematography, London, Chapman & Hall, 1951.
21. D.B. Thomas. The First Colour Motion Pictures, London, 1969.
22. Eastman Kodak. Tinting and Toning of Eastman Positive Motion Picture Film, USA, Eastman Kodak, 1922.
23. Glafkides, P. Photographic Chemistry, London, Fountain, 1960.

24. Hayes R. M., A History and Filmography of Stereoscopic Cinema, US, North Carolina, 1989.
25. How to Make and Operate Moving Pictures, US, Funk&Wagnalls, 1917.
26. Ives, F.E. "Color Toning of Cine Films", Trans. SMPE, No4, May, 1922.
27. Kinemacolor. Каталог за 1912 год.
28. Kinematograph Weekly. 11-07-1957.
29. Kinocolor Film Dyes. 1927.
30. Komatsu, Hiroshi. "From Natural Colour To The Pure Motion Picture Drama: The Meaning Of Tenkatsu Company In The 1910s Of Japanese Film History." Film History, Australia, 1995 7(1), p. 69-86.
31. La Production Cinematographique Des Frères Lumière.
32. Motion Picture Photography by Carl Louis Gregory F.R.P.S. - Edited by Herbert McKay, A.R.P.S. - published by Falk Publishing Co Inc 1927.
33. Penrose's Pictorial Annual, vol. XIV, 1908.
34. Ryan, R.T. A History of Motion Picture Colour Technology, London, Focal, 1977.
35. The British Journal Of Photography, 1906-1921.
36. The British Journal of Photography. December 6, 1907.
37. The British Journal of Photography. October 7, 1921.
38. Агокас Н.Н., Цветное кино, М., Кинофотоиздат, 1936.
39. Анощенко Н.Д., Звучащая фильма в СССР и за границей, М., Теакинопечать, 1930.
40. Валюс Н.А., Стереоскопия, М., Изд-во АН СССР, 1962..
41. Голдовский Е.М., Советская кинотехника, М., Изд-во АН СССР, 1950.
42. Голдовский Е.М., Основы кинотехники, М., «Искусство», 1965.
43. Голдовский Е.М., Проблемы панорамного и широкоэкранного кинематографа, М., «Искусство», 1958.
44. Голдовский Е.М., Кинотехника в Европе (по материалам заграничной командировки), М., 1937, с. 258-266.
45. Голдовский Е.М., Принципы широкоформатного кинематографа, М., «Искусство», 1962.
46. Голдовский Е.М., Принципы широкоэкранного кинематографа, М., «Искусство», 1956.
47. Головня А.Д., Мастерство кинооператора, М., «Искусство», 1965.
48. Горбачев Б.К., Техника комбинированных съёмок, М., «Искусство», 1958.
49. Иванов Б.Т., Растровая стереоскопия в кино, М., Госкомкиноиздат, 1945.
50. Иванов Б.Т., Стереокинотехника, М., «Искусство», 1956
51. Искусство миллионов. Сборник, М., «Искусство», 1958.
52. Кине-Журнал (Живая фотография), Москва, Ред.-изд. Р. Д. Перский, М., 1910.
53. Кинемаколор, Санкт-Петербург, Ред. В. А. Забелин. Изд. Е. Чепурнов, 1910-1911.
54. Кинематограф, Одесса, Ред.-изд. М. А. Букареева, 1910.
55. Кинематографический Театр, Санкт-Петербург, 1911-1912.
56. Клейн А., Цветная кинематография, М., Госкиноиздат, 1939.
57. Лебедев Н.А., Очерки истории кино СССР. Немое кино, М., «Искусство», 1965.
58. Лучанский М. «Люди советского цветного кино». М., Госкиноиздат, 1939.
59. Проворов Ф.Ф. Больше внимания цветному кино, Журнал «Искусство кино», 1938, № 6, с. 62-63.
60. Проворов Ф.Ф. Почему нет цветных фильмов, «Правда» от 19 апреля 1937 г.
61. Соболев Р. П., Люди и фильмы русского дореволюционного кино, М., «Искусство», 1961.
62. Советские художественные фильмы, т.т. 1-5, М., «Искусство», 1961-1979.
63. Фурдуев В.В., Кино завтра, М., Московский рабочий, 1929.
64. Шипова Т.Н. Фотографы Москвы (1839-1930), М., Совпадение, 2006.

Продолжение следует

## УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

**Научно-исследовательский кинофотоинститут  
совместно с Институтом проблем передачи информации  
Российской академии наук проводит  
анкетирование среди зрителей, просмотревших стереофильмы (3D)  
в цифровых кинотеатрах.**

Результаты анкетирования позволят разработать специальные требования к цифровому стереокинопоказу, которые необходимы для обеспечения комфортных условий просмотра стереофильмов и восприятия объёмного изображения в кинотеатре без усталости глаз.

Огромная просьба ко всем, просмотревшим стереофильм в кинотеатре, заполнить в электронном виде анкету, размещённую на сайте:

[www.iitp.ru/3d](http://www.iitp.ru/3d)



**3D**