

**№ 5 СОДЕРЖАНИЕ:**



стр. 2

**Вопросы теории**

А. С. Блохин

**Исследование характеристик и разработка функциональной модели зрительного анализатора человека применительно к условиям наблюдения киноизображений** 2

В. А. Лапшин

**Системы импульсного электропитания ксеноновых ламп кинопроекторов** 10

**Технологии**

А. С. Городников

**Перспективы нанотехнологий в кинематографии** 16



стр. 10



стр. 22

Ф. Куйт

**Вакуумное туннелирование: новая методика в микроскопии (перевод статьи)** 22

А. В. Барский

**Компьютерная технология рисунка и её применение (окончание)** 25

Д. Г. Чекалин

**Телекинопреобразователи и технологии сканирования** 27

**Мастер-класс, семинары, новости SMPTE, отзывы**

А. С. Блохин, перевод статьи из SMPTE

**Оценка Качества Изображения в Цифровом Кино** 35

Л. Ф. Артюшин

**СВЕТ И ЦВЕТ (продолжение)** 40

А. А. Комаров

**Некоторые рекомендации при выборе видеопроектора** 45

**От редакции**

48



стр. 40



# Исследование характеристик и разработка функциональной модели

А. С. Блохин,  
к.т.н., ОАО НИКФИ

ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА ЧЕЛОВЕКА ПРИМЕНИТЕЛЬНО  
К УСЛОВИЯМ НАБЛЮДЕНИЯ КИНОИЗОБРАЖЕНИЙ



## Введение

Зрительный аппарат человека (в дальнейшем — зрительный анализатор) является последним звеном любых кинематографических систем. В конечном итоге все характеристики кинематографической системы находятся в прямой зависимости от характеристик зрительного анализатора. Исследованиями зрительного анализатора занимались: Ньютон, Ломоносов, Гельмгольц, Максвелл, Юнг, Геринг, Вавилов, Кравков, Джадд, Мак-Адам, Хьюбел, Пэдхэм и многие другие учёные, создавшие в итоге современное представление о механизмах прохождения и обработки зрительной информации на различных стадиях системы зрительного анализатора. Однако до настоящего времени не создана единая модель действия зрительного анализатора, так как зрительное восприятие объектов наблюдения является сложнейшей функцией взаимодействия глаза и многих отделов головного мозга человека. Многими исследователями предлагались модели зрительного анализатора с определенными упрощениями применительно к конкретным

задачам [10,11]. Для определения основных характеристик при развитии кинематографических систем необходимо создать функциональную модель зрительного анализатора для условий наблюдения изображения в кинематографе.

Рассмотрим наиболее типичные характеристики зрительного анализатора применительно к указанным условиям.

### 1.1. Острота зрения (разрешающая способность)

Разрешающая способность зрительного анализатора — это характеристика, определяющая способность различать минимальное расстояние между двумя соседними объектами наблюдения. Физиологической функцией, лежащей в основе разрешающей способности, является различительная чувствительность зрительного анализатора [10]. На рис. 1. приведена схема распределения возбуждения в зрительном анализаторе при различении двух объектов А и В.

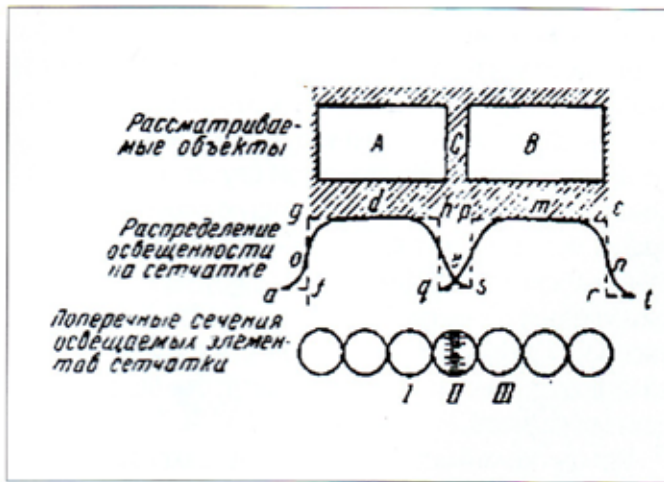


Рис. 1

При рассматривании двух объектов (А и В) с промежутком между ними (С) освещённость сетчатки глаза определяется кривыми d и m. В соответствии с этим колбочка II сетчатки глаза будет освещена меньше, чем колбочки I и III. Разность возбуждения соседних колбочек, таким образом, определит степень различения зрительным анализатором объектов А и В. Очевидно, что минимальный замечаемый промежуток между двумя объектами (разрешающая способность зрительного анализатора) определяется угловыми размерами одной колбочки, составляющими около 30'. Однако множество экспериментальных данных свидетельствует о том, что в некоторых случаях разрешающая способность зрительного анализатора может отличаться от величины 30' как в большую, так и в меньшую сторону. Имея в виду это обстоятельство, исследуем условия, влияющие на разрешающую способность зрительного анализатора.

Монохроматический свет обеспечивает большую разрешающую способность, чем полихроматический. Очевидно то, что это явление можно объяснить хроматическими aberrациями зрительного анализатора. Кроме того, следует учитывать, что разрешающая способность существенно зависит от длины волны света,

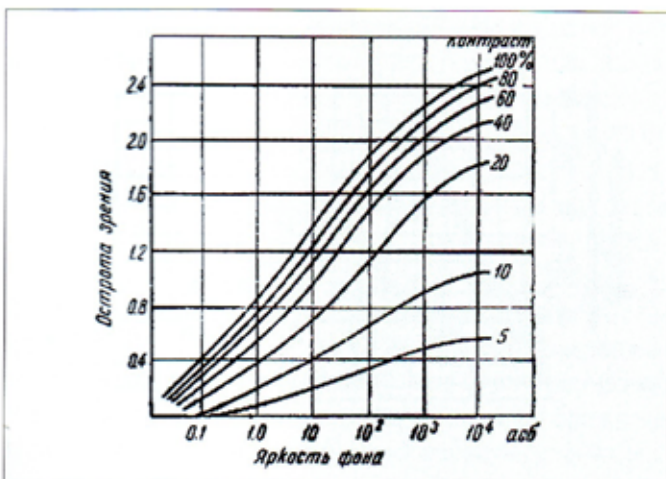


Рис. 3

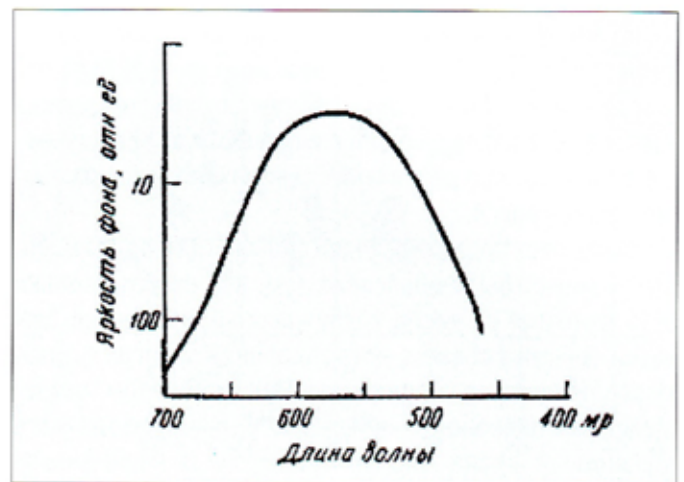


Рис. 2

используемого в эксперименте. На рис. 2 приведена зависимость разрешающей способности от длины волны света (по данным Вайнберга и Лапинской).

Разрешающая способность зрительного анализатора весьма существенно зависит от места светового раздражения сетчатки глаза. С удалением от центральной ямки сетчатки она быстро падает (по данным Фика).

Разрешающая способность ухудшается, если зрительный анализатор предварительно адаптирован к яркостям, большим или меньшим яркости наблюдаемого объекта. Зависимость разрешающей способности от освещённости и контраста при различении тёмных объектов на светлом поле (по данным Зидентопфа) приведена на рис. 4.

Аналитическое выражение для средней части кривых, приведенных на рис. 4:

$$V = a \lg E + b$$

где: V — разрешающая способность зрительного анализатора;

E — освещённость поля;

a, b — постоянные коэффициенты.

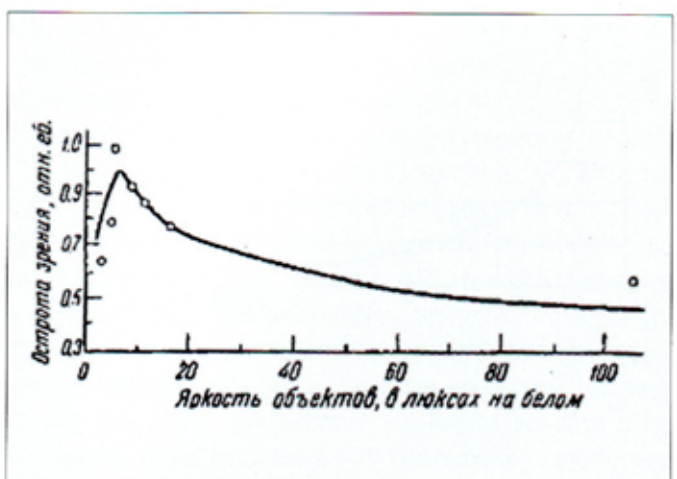


Рис. 4

Из рис. 3 видно, что разрешающая способность достигает максимального значения при контрасте 100% и освещённости в несколько тысяч люкс. Иная картина зависимости разрешающей способности от освещённости возникает при различении светлых объектов на тёмном фоне — рис. 4.

Зависимость разрешающей способности от освещённости может быть объяснена тем, что острота зрения есть функция от числа возбужденных элементов сетчатки, иными словами, острота зрения зависит от размеров различаемых предметов. Таким образом, разрешающая способность зрительного анализатора есть функция от числа многих независимых переменных. Считая чувствительным элементом колбочку сетчатки, имеющую размер приблизительно 0,005 мм, угловой размер её в пространстве объектов составит около 1' (угловой минуты). Величина разрешающей способности 1 принята в медицине в качестве нормы остроты зрения. Принимая во внимание снижение нормальной остроты зрения в условиях наблюдения киноизображения с яркостью порядка 40–60 кд/м<sup>2</sup>, установлено, что разрешающая способность зрительного анализатора составит около 2' (угловых минут). В реальных условиях наблюдение киноизображений всегда сопровождается некоторыми визуальными помехами. В плёночном кинематографе такими помехами является зернистый (гранулярный) шум, связанный с зернистой структурой эмульсии киноплёнки, а также помехи, связанные с неизбежными механическими повреждениями эмульсионного слоя в процессе эксплуатации фильмокопии — царапинами, отслоениями эмульсии и т. п. В электронном кинематографе природа возникновения шумов связана с физическими принципами преобразования свет-сигнал и сигнал-свет, а также с принципами преобразования видеоинформации в процессах кинопроизводства и кинопоказа. При наличии определённого уровня шумов разрешающую способность зрительного анализатора следует рассматривать как величину статистическую.

Называя величину разрешающей способности, необходимо также указывать величину вероятности, с которой изображение двух соседних точек объекта наблюдатель будет воспринимать отдельно, а не как единую точку. По данным Красильникова, в том случае, когда фактором, ограничивающим разрешающую способность, является белый шум, т. е. изображения достаточно контрастны, зрительный анализатор практически реализует максимальную разрешающую способность. Характер зависимости разрешающей способности зрительного анализатора от спектральной интенсивности белого шума показан на рис. 6.

Интересно отметить следующие закономерности. Сетчатка каждого глаза содержит 6,5–7 млн. колбочек, являющихся основными рецепторами в условиях восприятия киноизображений. Вместе с этим, количество нервных волокон, соединяющих сетчатку с головным мозгом для каждого глаза, составляет примерно 0,8–1,0 млн. Таким образом, на этапе преобразования зрительной информации от рецепторов сетчатки к волокнам глазного нерва происходит «сжатие» информации в 6,5–8,75 раз за счёт отсеивания всего несущественного безо всякого ухудшения качества зрительного восприятия. Отмеченное обстоятельство имеет большое значение для создания систем электронного кинематографа, т. к. указывает на имеющуюся статистическую избыточность визуальной информации и определяет оптимальную величину сжатия информационного потока без ухудшения качества изображения.

## 1.2. Различительная чувствительность (восприятие градаций яркости)

Различительной чувствительностью зрительного анализатора (контрастной чувствительностью) называется способность различать яркость объектов. Зрительный анализатор человека способен различать объекты в чрезвычайно широком диапазоне яркостей, составляющим до 9 порядков. Исследования Бугера,

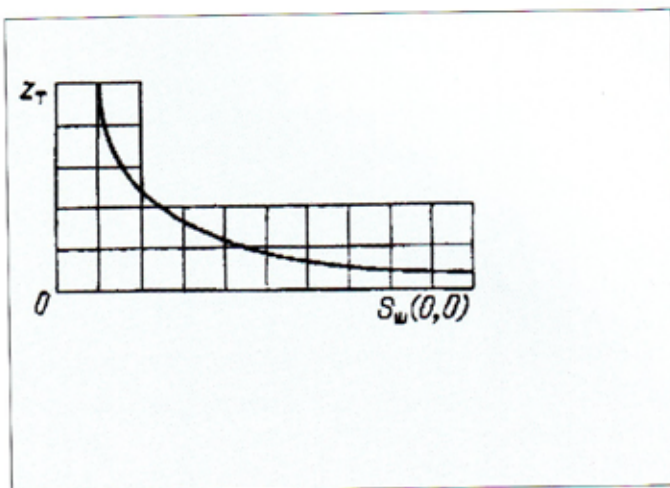


Рис. 5

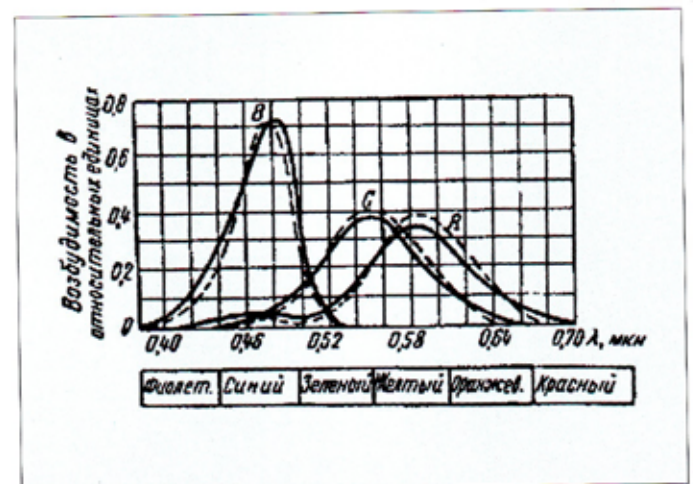


Рис. 6

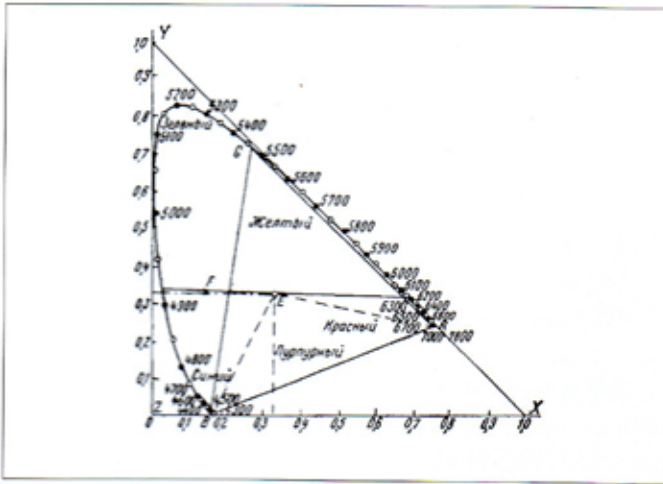


Рис. 7

Вебера и Фехнера позволили установить, что в достаточно широких пределах изменения абсолютной яркости едва заметное изменение интенсивности ощущения (видимой яркости) пропорционально отношению  $\Delta I/I$ , где  $\Delta I$  — относительный прирост светового раздражителя, а  $I$  — абсолютное значение светового раздражителя. Математическое выражение этой зависимости называется законом Вебера - Фехнера:

$$dE = k \frac{dI}{I}$$

После интегрирования этого отношения имеем:

$$E = k \ln I + c$$

где:

$E$  — видимая яркость  $I$  — интенсивность светового раздражителя,

$k$  и  $c$  — постоянные коэффициенты.

Величина разностного порога для светоощущения по данным различных исследователей составляет от 1 : 64 до 1 : 164. Разностный порог остаётся постоянным и равным 1,5–2% лишь в области средних яркостей, для очень больших и очень малых яркостей он существенно возрастает. Разностный порог существенно зависит от угловых размеров наблюдаемого объекта, при увеличении размеров объекта он уменьшается. Имеет место также зависимость разностного порога от места светового раздражителя на сетчатке глаза. При удалении от центральной ямки сетчатки разностный порог значительно увеличивается. По данным Кравкова величина разностного порога зависит также от не прямых раздражителей — воздействия на второй глаз и другие органы чувств наблюдателя. При наличии шумов в изображении количество различимых градаций яркости ограничивается уровнем шума. Представляет интерес определить максимальное количество градаций яркости  $m$ , которое

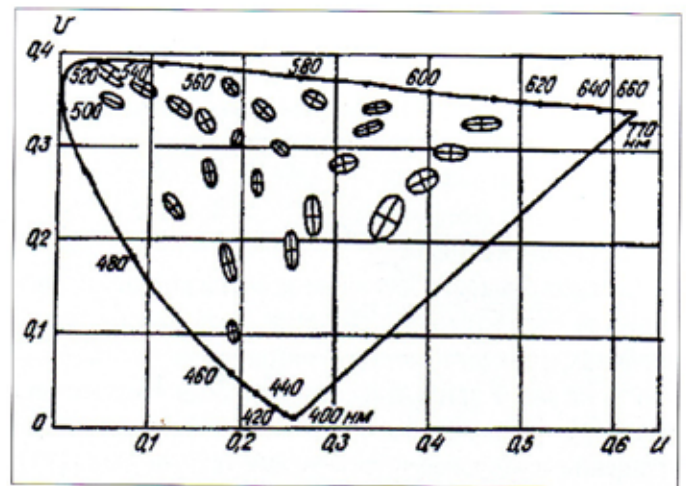


Рис. 8

способен различить наблюдатель, если шум на изображении пренебрежимо мал. Пусть видимая яркость нулевой градации составит  $L_{min}$ , тогда для первой градации имеем:

$$L_1 = L_{min} + \delta L_{min} = L_{min}(1 + \delta_{II})$$

Яркость второй градации:

$$L_2 = L_1 + \delta L_1 = L_{min}(1 + \delta_{II})^2$$

Яркость  $m-1$  градации:

$$L_{m-1} = L_{max} = L_{min}(1 + \delta_{II})^{m-1}$$

Решая написанное выражение относительно  $m$ , имеем:

$$m = (\ln(L_{max} / L_{min}) / \ln(1 + \delta_{II})) + 1 \cong (\ln(L_{max} / L_{min}) / \delta_{II}) + 1$$

Поскольку  $\delta_{II} \leq 1$  и, следовательно,  $\ln(1 + \delta_{II}) \cong \delta_{II}$ . Полагая, что контрастность изображения  $L_{max}/L_{min} = 100$  и  $\delta_{II} = 0,02$ , находим, что  $m = 231$ .

Интересно отметить, что в соответствии с исследованиями физиологов зрительный анализатор человека оценивает изменение яркости наблюдаемого объекта при помощи изменения частоты электрических импульсов, посылаемых по зрительному нерву глазу в соответствующие отделы коры головного мозга. Амплитуда импульсов составляет около 20 мВ при длительности импульса 1 мс. Низкие значения яркости соответствуют низким частотам следования импульсов, при повышении яркости частота импульсов возрастает и достигает 120 имп/с при высоких значениях яркости [11]. Интересно отметить, что в компьютерных технологиях рекомендована оптимальная частота кадров 120 Гц, как наиболее комфортная с точки зрения минимальной

утомляемости наблюдателя. Таким образом, анализ изменения частоты следования нервных импульсов при соответствующих изменениях яркости имеет весьма важное значение при создании систем электронного кинематографа.

### 1.3. Восприятие цвета

Восприятие цвета зрительным анализатором происходит за счёт наличия в сетчатке глаза рецепторов — колбочек, имеющих разные спектральные чувствительности. На **рис. 7** приведены спектральные чувствительности трёх типов колбочек, выраженные в процентах поглощения зрительными пигментами квантов света [10].

Как видно из **рис. 7**, максимумы спектральной чувствительности приходятся на сине-зеленый свет (область В), желто-зеленый (область G) и желто-оранжевый (область R). Масштаб кривых выбран таким образом, чтобы ограничиваемые ими площади были равны. Это соответствует допущению, что при одинаковом возбуждении трёх типов рецепторов у человека возникает ощущение белого света. Цветовые составляющие R, G, и В в соответствии с теорией Юнга-Максвелла являются основными цветами, т. е. ни один из них не может быть получен путём смешения двух других. Все же остальные цветовые оттенки могут быть получены смешением этих трёх основных цветов, если взять их в соответствующих количествах, т. е. всегда осуществляется количественное и качественное равенство:

$$F = rR + gG + bB,$$

где  $r$ ,  $g$  и  $b$  — количество цветовых компонентов R, G и B.

Для удобства инженерных расчетов и устранения разночтений при определении того или иного цвета МОК в 1931 г. рекомендовал кривые сложения из трёх

спектральных цветов 700, 546 и 436 нм, являющихся спектральными линиями излучения паров ртути, а также кривые сложения цветов, полученные путём пере-счета на три абстрактные стимула светового раздражения глаза:

$$700 \text{ нм} = 0,735x + 0,265y + 0,007z$$

$$546 \text{ нм} = 0,274x + 0,717y + 0,009z$$

$$436 \text{ нм} = 0,167x + 0,009y + 0,85z$$

При воздействии на глаз всех лучей спектра с равномерным распределением энергии  $x = y = z$ , стандартный цветовой график МОК 1931 г. показан на **рис. 8**.

Величины X и Y на координатных осях этого графика выражены в процентах. Для практического использования диаграммы цветности важно знать пороги цветоразличения, т. е. минимальные изменения цветности, различимые зрительным анализатором. Цветовой порог Мак-Адама — это порог цветоразличения в состоянии адаптации наблюдателя на свет стандартного источника с яркостью 24 кд/м<sup>2</sup> при размерах полей сравнения 2° и 21° соответственно. Он составляет в среднем 0,0038 на равноконтрастной диаграмме Мак-Адама в координатах u,v, связанных с координатами x, y линейными соотношениями (**рис. 9**). Вдоль линии спектральных цветов равноконтрастной диаграммы укладывается около 300 порогов Мак-Адама, вдоль линии пурпурных цветов — 130. Всего на площади, ограниченной равноконтрастной диаграммой, укладывается около 12 000 порогов Мак-Адама. Все приведенные выше численные значения в силу зависимости порогов цветоразличения от яркости и цветности фона, содержания изображения и условий наблюдения могут рассматриваться как ориентировочные, но, тем не менее, представляют большой интерес для инженерных расчетов. Исследования восприятия цвета зрительным анализатором, проведенные Кравковым, а также исследования при разработке систем цветного телевидения позволили установить

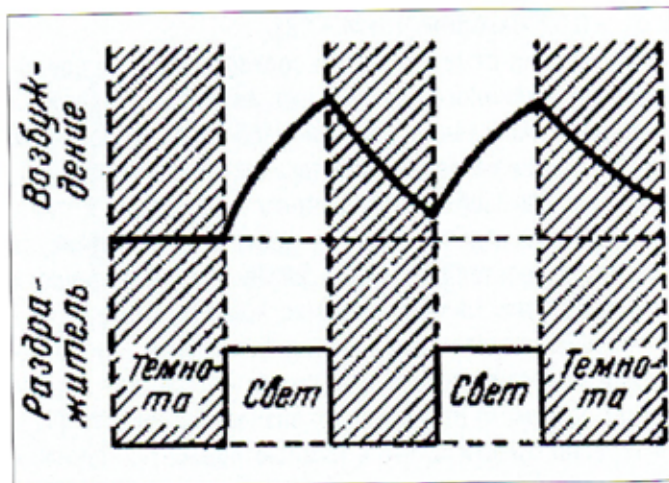


Рис. 9

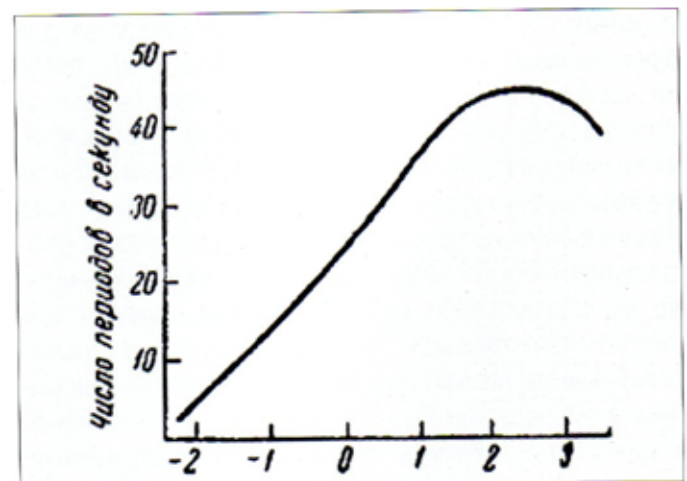


Рис. 10

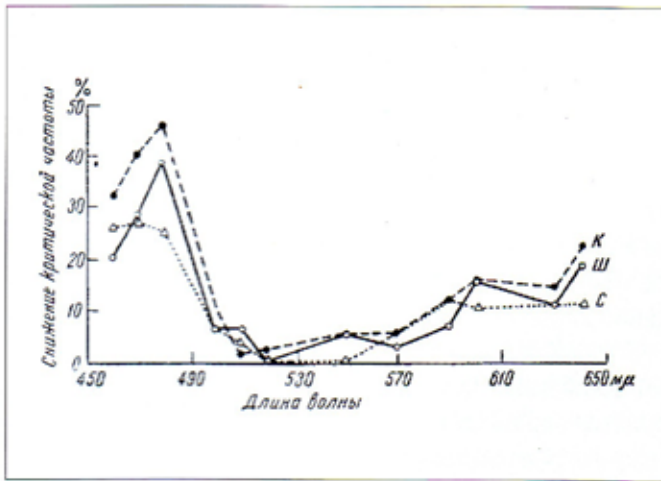


Рис. 11

следующие закономерности, имеющие большое значение при создании кинематографических систем:

1. Теория трехцветного зрения справедлива только для случаев, когда наблюдаемый объект имеет относительно большие размеры – более 30'.

2. Для объектов, имеющих угловые размеры в пределах 10-30', зрительный анализатор воспринимает только два цвета – синий цвет становится ахроматическим и неотличимым от серого цвета.

3. Объекты, имеющие угловые размеры менее 10', воспринимаются зрительным анализатором как полностью ахроматические. В этом случае зрительный анализатор различает только градации яркости таких объектов. Указанные закономерности имеют крайне важное значение при разработке систем электронного кинематографа.

#### 1.4. Особенности восприятия зрительным анализатором мелькающих изображений

Схематическая картина происходящего в зрительном анализаторе при воздействии прерывающегося светового раздражителя показана на рис. 10.

Как видно из рисунка, в момент воздействия светового импульса возбуждение зрительного анализатора развивается по кривой до определённого уровня, а во время перерыва света затухает по нисходящей кривой. Очевидно, что заметность мельканий зависит от разности возбуждения в максимуме в период освещения и в минимуме в период затемнения. При этом значение имеет не абсолютная величина этой разницы, а её относительная величина в сравнении с максимальным уровнем возбуждения в период освещения. По результатам экспериментов Портера и Айвса [10] критическая частота слияния мельканий  $F_k$  определяется зависимостью:

$$F_k = a \lg I + b,$$

где:  $I$  — интенсивность раздражающего света,  $a$  и  $b$  — постоянные коэффициенты.

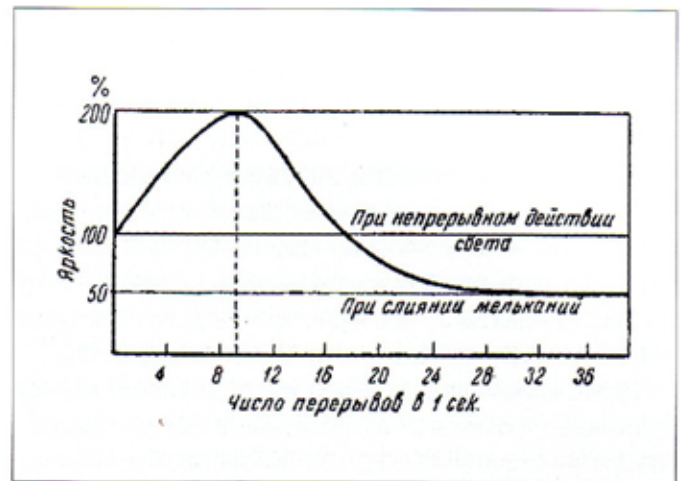


Рис. 12

Измерение  $F_k$  для большого диапазона интенсивностей раздражающего света по данным Гехта и Веррийпа приведено на рис. 11. Величина  $F_k$  в значительной степени зависит от длины волны светового излучения. Е. М. Голдовским установлена зависимость от угловых размеров наблюдаемого изображения. Эта зависимость приведена в таблице 1.

Таблица 1.

Угол поля зрения, град	$F_k$ при яркости 67 кд/м <sup>2</sup>
10	45
20	46
40	48
60	51
80	53
100	56
120	58
140	61
160	63

Как видно из таблицы, при расширении поля зрения значительно увеличивается  $F_k$ . Это обстоятельство имеет весьма важное значение для кинематографических систем.

#### 1.5. Видимая яркость мелькающих изображений

Представляет большой интерес определение видимой яркости изображения при различных частотах прерывистого светового потока. По результатам исследований Бартли [10] зависимость видимой яркости от частоты следования световых импульсов приведена на рис. 12.

В опытах Бартли периоды освещения и затемнения были одинаковы. Повышение видимой яркости сверх

стационарного уровня при частоте импульсов около 10 имп/с Бартли объясняет совпадением этой частоты с частотой естественного ритма коры головного мозга.

### 1.6. Сканирование глазом объектов наблюдения

Глаз почти никогда не бывает совсем неподвижным: небольшие произвольные движения совершаются даже при попытке фиксировать взор на одной точке. На **рис. 13** показана типичная картина движения глаза при попытке фиксировать взор на одной точке [11].

Здесь можно видеть движение трёх типов: мелкое дрожание (тремор) с частотой около 50 Гц, скачкообразные движения (саккады) с амплитудой в несколько угловых минут и скоростью движения в  $100^\circ/\text{с}$  и более и, наконец, между саккадами наблюдается медленный «дрейф». Все эти движения происходят и при произвольном перемещении взора, например при рассмотрении любого изображения. Во время саккады происходит потеря зрительной функции на время около 20 мс. При искусственной стабилизации положения поля зрения глаза происходит полная потеря зрительного образа в течение 1–2 с. Зрительное восприятие может быть восстановлено только при перемещении изображения на сетчатке или при изменении яркости или цвета изображения. На **рис. 14** приведено изображение движения луча развертки изображения в системах электронного кинематографа, телевизионных и компьютерных системах.

Возникают обоснованные аналогии прямого хода луча развертки с дрейфом (информационная часть движения), обратного хода луча развертки и саккады. В некоторых телевизионных системах предлагалось использовать быстрые вертикальные колебания развертывающего луча с небольшой амплитудой (воббуляцию) для исключения заметности межстрочных промежутков. Характер колебаний при воббуляции весьма схож с тремором при сканировании глазом объекта наблюдения, поэтому тремор можно характеризовать как механизм

формирования целостного зрительного образа при выраженной дискретной структуре светочувствительных элементов сетчатки глаза. Принимая во внимание перечисленные аналогии, можно заключить, что способ формирования изображения кадра в системах электронного кинематографа, а также в телевизионных и компьютерных системах в определенной степени аналогичен механизму формирования зрительного образа при наблюдении изображения.

Рассмотренное свойство зрительного анализатора человека имеет чрезвычайно важное значение для восприятия экранных изображений в различных кинематографических системах.

### 1.7. Функциональная модель зрительного анализатора применительно к кинематографическим системам

Согласованность характеристик кинематографической системы с характеристиками зрительного анализатора, во-первых, обеспечивает комфортность восприятия кинематографического изображения, т. е. минимальную утомляемость зрителя при максимальном уровне эмоционального воздействия, во-вторых, позволяет разумно ограничить требуемые технологические параметры кинематографической системы и, в третьих, оптимизировать её экономические характеристики. Задача согласования характеристик кинематографической системы с соответствующими характеристиками зрительного анализатора может быть существенно упрощена при наличии функциональной модели зрительного анализатора, адаптированной к условиям кинопоказа. Вопросам создания функциональной модели зрительного анализатора в последнее время уделяется большое внимание [11]. Однако предлагаемые модели предназначены для решения узкоспециализированных задач и мало пригодны для анализа восприятия кинематографических изображений. На основе анализа изложенных выше свойств зрительного анализатора разработана функциональная модель,

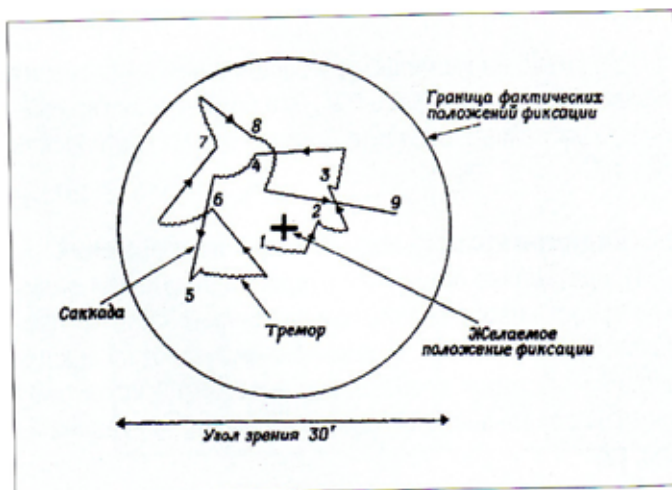


Рис. 13

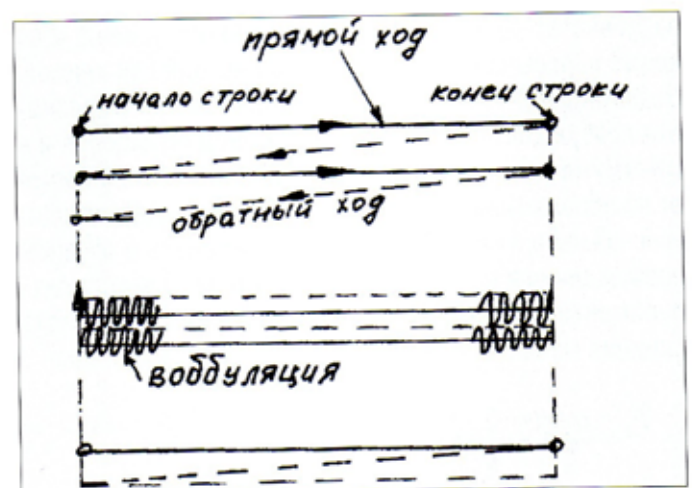


Рис. 14



в максимальной степени учитывающая особенности восприятия кинематографических изображений (рис. 15). Оптическая система глаза обеспечивает формирование изображения на сетчатке. Глазные мышцы, управляемые сигналами головного мозга, совершают сканирующие движения глаза, необходимые для формирования зрительного образа. Колбочки трёх типов – «красные», «зелёные» и «синие» создают соответствующие сигналы  $R(x,y)$ ,  $G(x,y)$  и  $B(x,y)$ , которые преобразуются фильтрами пространственных частот с коэффициентами передачи  $K_r$ ,  $K_g$  и  $K_b$ . Далее сигналы подвергаются логарифмическому преобразованию и комбинируются, образуя ахроматическую  $Y$  и цветоразностные  $R-Y$  и  $B-Y$  компоненты. Ахроматическая компонента  $Y$  является ещё и функцией частоты мелькания изображений  $\Omega m$ . Сигналы  $R-Y$  и  $B-Y$  сохраняют постоянные значения при изменении только ахроматической компоненты  $Y$  и обращаются в ноль при восприятии ахроматических изображений. Информация об изменении яркости передается в глазной нерв в виде последовательности импульсов постоянной амплитуды, частота следования которых изменяется при соответствующем изменении яркости. Преобразование исходных сигналов  $E_r$ ,  $E_g$  и  $E_b$  в сигналы  $Y$ ,  $R-Y$  и  $B-Y$  позволяет уменьшить статистическую избыточность информации в «красном» и «синем» каналах, т.к. информация о распределении яркостей изображения передается только по «ахроматическому» каналу  $Y$ . Дальнейшая обработка сигналов с целью их «уплотнения» (компрессии) производится на этапе преобразования зрительной информации между нервными окончаниями сетчатки и волокнами глазного нерва. Как уже отмечалось, общий коэффициент компрессии на этом этапе достигает 6–8 при полном отсутствии искажений изображения. Очевидно, что разработанная модель зрительного анализатора является упрощенной, т.к. не содержит анализа условий бинокулярного зрения и многих других аспектов, связанных с деятельностью высших отделов коры головного мозга, однако, как будет показано ниже, она может быть весьма полезной при разработке технологий кинематографических систем.

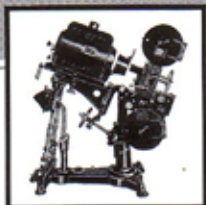
## Выводы

1. Первичная обработка зрительной информации в сетчатке предполагает формирование из трёх сигналов основных цветов ахроматического сигнала, несущего информацию о распределении яркостей по полю сетчатки и двух цветоразностных сигналов, в которых содержится информация только о контурах объектов соответствующего цвета. При этом происходит уплотнение, «компрессия» первичной зрительной информации в 1,5–2 раза, что имеет важное значение для создания систем электронного кинематографа.

2. Сканирующие движения глаза при наблюдении изображений в известной степени аналогичны движениям развертывающего изображение луча в системах электронного кинематографа, телевизионных и компьютерных системах. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о достаточно близком сходстве механизмов формирования зрительного образа у наблюдателя и формирования изображений в указанных системах и предположить, что восприятие изображений в электронном кинематографе может быть достаточно комфортным при минимальной утомляемости наблюдателя. В зрительном анализаторе информация об изменении яркости кодируется изменением частоты электрических импульсов, поступающих в кору головного мозга. При увеличении яркости частота следования импульсов увеличивается и достигает 120 Гц при максимальной яркости. Это обстоятельство, а также зависимость критической частоты слияния мельканий от величины поля зрения позволяет сформулировать требования к выбору оптимальной частоты кадров в разрабатываемых кинематографических системах.
3. Трехкомпонентная теория зрительного восприятия справедлива только для объектов, имеющих угловые размеры более  $30'$ . При меньших угловых размерах объектов пропадает восприятие сначала синего, затем красного и зелёного цветов и при размерах порядка  $10'$  изображение становится полностью ахроматическим. Эта закономерность позволяет существенно уменьшить количество передаваемой информации в разрабатываемых кинематографических системах.

## Литература

1. Кравков С.В. Глаз и его работа. М.: Изд АН СССР. 1950.
2. Пэдхэм Ч., Сондерс Дж. Восприятие света и цвета. М.: Мир, 1978г.
3. Хьюбел Д. Глаз, мозг и зрение. М.: Мир. 1990.
4. Красильников Н.Н. Теория передачи и восприятия изображений. М.: Радио и связь. 1986г.
5. Артюшин Л.Ф. Основы воспроизведения цвета. Москва. Искусство, 1970г.
6. Шмаков. П.В. Основы цветного и объемного телевидения. М.: Советское радио. 1954.
7. MacAdam D.L. Josa. 1942. № 5.
8. MacAdam D.L. Josa. 1937. № 8.
9. Кайвер М.С. Основы цветного телевидения. М.: Иностранная литература, 1957.
10. Голдовский Е. М. Глаз и кино. М.: Искусство, 1962.
11. Frai W. A New Model of Color Vision and Practical Limitation. University of Soother California. Image Processing Institute. USCEE. Report 530. March. p. 128-143.
12. Faugeras O.O. Digital Color Image Processing within the Framework of Human Visual Model. Ieee Trans. Acoust. Speech. Signal Processing. ASSP. 1979. p. 380-393.



# Системы импульсного электропитания

## КСЕНОНОВЫХ ЛАМП КИНОПРОЕКТОРОВ

В. А. Лапшин,  
к. ф.-м. н.,  
НИИ прикладных физических  
проблем, г. Минск, Белоруссия

### Назначение и общая характеристика систем питания

В кинопроекции каждый кадр должен просвечиваться импульсами света, что достигается периодическим прерыванием света лопастями механического obtюратора, поглощающими половину световой энергии дуговой лампы. Лампа работает на постоянном токе и, следовательно, половину времени горит вхолостую. Из-за этого в два раза снижается возможное время наработки лампы в кинопроекторе.

Попытки избавиться от obtюратора и создать безobtюраторный кинопроектор предпринимались неоднократно [1]. Они основывались на базе различных механических разверток и им подобных устройств. Однако, как показали испытания, практическая реализация безobtюраторной кинопроекции возможна лишь с применением импульсного включения кинопроекторной лампы во время неподвижного кадра в кадровом канале и выключение её при смене кадра.

Создание безobtюраторной кинопроекции открывает широкие возможности повышения качества кинопоказа и улучшение условий работы обслуживающего персонала. С целью создания такой кинопроекции (повышение светового потока осветителя кинопроектора и снижение энергозатрат) разработаны способ и устройство питания электродуговой лампы кинопроектора импульсным током [2-5].

Импульсные системы питания дуговых ламп, наряду с повышением экономичности и светоотдачи, обеспечивая безobtюраторную кинопроекцию, позволяют значительно повысить качество кинопоказа и решить ряд других проблем современного кинематографа.

В новых стандартах значительно повышается номинальная яркость киноэкрана.

Известно, что с повышением яркости изображения повышается контрастная чувствительность зрительного анализатора и его разрешающая способность, повышается чёткость изображения. С повышением яркости изображения возрастает заметность его мельканий, в связи с этим возникает проблема снижения или полного устранения заметности мельканий изображения. Исследования, проведенные в СПбГУКиТ, показали, что решением проблемы может стать лишь полный отказ от механического obtюратора и переход к электронной obtюрации с импульсным питанием дуговой лампы с частотой вспышек в 72 Гц и выше. Мельканий изображения с такой частотой зритель не заметит при любой, сколь угодно высокой яркости изображения, а потери света на obtюрацию полностью исключаются [6].

Используя импульсные системы питания дуговых кинопроекторных ламп, специалисты СПбГУКиТ провели цикл исследований влияния частоты кинопроекции на качество кинопоказа. На основании проведенных исследований установлены оптимальные параметры кинопроекции: частота мельканий 72 Гц при коэффициенте обтюрации 0,3. Подтверждены данные физиологов о благотворности воздействия на человека световых сигналов с указанными параметрами: происходит улучшение показателей психофизического состояния, снижение утомляемости и увеличение концентрации внимания у зрителей.

Использование электронной обтюрации с частотой 72 Гц и более может решить и другую принципиально важную проблему – снижение износа фильмокопий и мальтийского механизма [7]. Решить эту проблему, используя механический обтюратор, невозможно [6].

При импульсном питании лампа осветителя кинопроектора работает при полном токе только во время просвечивания кадра, а во время его замены и светопauses в лампе горит дежурный разряд, не вызывающий заметного освещения экрана.

Среднее значение электрической мощности, потребляемой лампой, не превышает паспортного значения, но т. к. скважность импульсов равна 2 (так же как при обтюраторной кинопроекции), амплитуда тока импульса в лампе в два раза больше величины среднего тока. Благодаря этому вдвое возрастает световой поток на киноэкран. Двухкратное увеличение выходной мощности лампы не изменяет спектральный состав светового потока на киноэкран благодаря способности ксеноновой лампы работать при значительном изменении мощности без изменения спектрального состава излучения [8].

Импульсы тока имеют прямоугольную форму, благодаря этому световой импульс, поступающий на экран, тоже имеет прямоугольную форму, что даёт дополнительный выигрыш в свете в 10–20% по сравнению с обтюраторной кинопроекцией, при которой форма светового импульса имеет форму, близкую к колоколообразной или синусоидальной.

Необходимость в обтюраторе отпадает, так как мощность дежурного разряда во время протяжки плёнки и смены кадра составляет 0,1–1% от мощности импульса просвечивания кадра при отсутствии заметного «смаза» изображения.

Использование дежурного разряда необходимо для обеспечения состояния ионизации газа в межэлектродном промежутке и проводимости лампы в течение демонстрации части фильма или (при желании) всего сеанса и даже всего рабочего дня.

Режим дежурного разряда весьма полезен для предотвращения частого поджига лампы высокочастотным высоковольтным разрядом. В 60-х годах XX века для

предотвращения частого поджига лампы вместо её выключения при работе другого поста и последующего её поджига практиковалось снижение тока дуги до 40% от номинального [9]. Это делалось ради повышения ресурса лампы, исключая тем самым частые высоковольтные пробои лампы и распыление катода для зажигания дуги.

Для дуговых ламп таким дежурным разрядом может быть тлеющий разряд или слаботочная дуга.

В качестве источника света используются те же электродуговые ксеноновые лампы, применяемые в обычной кинопроекции, а в качестве кинопроекторов используются серийные аппараты, в которых снимается обтюратор и устанавливается синхродатчик.

Нами разработана линейка импульсных систем питания: средняя – от 0,25 кВт до 1 кВт и большая – от 1 кВт до 20 кВт мощности для дуговых ламп и других электродуговых устройств.

Система питания электродуговых ламп (в дальнейшем – СЭПЛ) предназначена для работы с отечественными и зарубежными кинопроекторами типа СК–1000, 23КПК, «Ксенон», 35КСА КП-30К, Meo-5 (Чехия), Victoria–5 (Италия), Kinoton (Германия) и др.

СЭПЛ выполняет следующие функции: питание лампы кинопроектора стабилизированным по амплитуде током; задание длительности импульсов; контроль и защиту устройств и цепей; обеспечение очередности включения и отключения входящих в СЭПЛ отдельных блоков; проведение режима «мягкого пуска» при запуске СЭПЛ.

В СЭПЛ встроен цифровой мультиметр для осуществления контроля выходных параметров – напряжения горения и тока лампы, а также светового потока на киноэкран.

Разработанные системы питания ламп для безобтюраторной кинопроекции позволяют в два и более раза повысить светоотдачу осветителей кинопроекторов за счёт импульсного питания ламп при сохранении паспортного значения их средней мощности, обеспечивают возможность работы с частотой кинопроекции до 100 Гц, обладают в несколько раз улучшенными энергоэкономическими и массогабаритными показателями.

### Принцип работы и устройство системы электропитания дуговых ламп

Разработанные нами СЭПЛ делятся на две группы, отличающиеся силовой частью питания устройств и исполнительными устройствами.

Первая группа – источники питания с трансформаторным входом и выходной мощностью до 20 кВт. Вторая группа – источники питания с бестрансформаторным входом с мощностью до 6 кВт. В данной статье описываются СЭПЛ первой группы:

СЭПЛ первой группы состоят из следующих

основных блоков: вторичного источника питания; генератора; стабилизированных по амплитуде сильноточных импульсов; схемы управления; источника питания дежурного разряда; выходного сглаживающего фильтра с блоком поддержки тока дуги при зажигании и устройства синхронизации подачи сильноточных импульсов дуговой лампы с работой лентопротяжного механизма кинопроектора.

В качестве вторичного источника применены силовой трансформатор и выпрямитель штатного блока питания кинопроектора.

Структуру электрической схемы СЭПЛ можно разделить на четыре части: цепь главного тока, т. е. силовая часть системы питания; цепь управления системой питания; блок синхронизации и контрольно-измерительный блок.

Цепь главного тока обеспечивает силовое питание электродуговой лампы током как в импульсном режиме, так и в режиме постоянного тока. Она состоит из выпрямительных силовых диодов и блока сглаживающих конденсаторов, регулирующего элемента (проходной транзистор или силовой коммутирующий ключ с разрядным диодом и ВЧ дросселем), выходного сглаживающего фильтра с блоком поддержки тока дуги при зажигании.

Цепь управления задаёт импульсам тока дуги регулируемую амплитуду, форму, длительность, частоту и скважность. Для СЭПЛ разной мощности цепи управления разнятся по своей структуре и принципу действия.

У систем средней мощности цепь управления представляет собой усилитель сигнала синхродатчика. Выход усилителя подключен к базе проходного транзистора, т. е. к регулирующему элементу.

Цепь управления СЭПЛ большой мощности состоит из генератора пилообразного напряжения, усилителя рассогласования, ШИМ-регулятора, датчика тока нагрузки и драйвера для управления работой ключевых транзисторов цепи главного тока.

Блок синхронизации вырабатывает сигналы синхронизации прямоугольной формы и подает их в цепь управления системы для включения импульсов тока в моменты времени, задаваемые работой лентопротяжного механизма кинопроектора.

СЭПЛ средней и большой мощности различаются способом стабилизации амплитуды тока импульса.

Для СЭПЛ средней мощности (до 1 кВт) применен компенсационный метод стабилизации амплитуды тока дуги в лампе, при котором энергия вторичного источника питания – понижающего трансформатора и выпрямителя – поглощается регулирующим элементом в количестве, обеспечивающем прохождение в лампе импульса тока с заданной амплитудой.

Регулирующий элемент (проходной транзистор) включается между вторичным источником и нагрузкой

(лампой) и работает как автоматическое переменное сопротивление.

В этих источниках потери энергии на регулирующем элементе в абсолютном отношении невелики, и проигрыш в потреблении электрической энергии для устройств таких мощностей относительно ключевых устройств в экономичности и габаритах незначителен. Но главное, компенсационные стабилизаторы и регуляторы несравненно надежнее, проще ШИМ – систем по конструкции и технологии изготовления.

В разработанных нами СЭПЛ мощностью до 1 кВт в качестве силового элемента генератора сильноточных импульсов применен 1 транзистор IGBT типа, работающих в режиме простого в схемном отношении проходного стабилизатора тока.

Для систем питания мощностью свыше 1 кВт на первое место уже выходят вопросы снижения энергозатрат, что можно достигнуть лишь разработкой импульсных ключевых стабилизаторов и регуляторов тока дуги лампы. В них, благодаря минимальным потерям энергии на регулирующем элементе, выше КПД и лучше массогабаритные показатели.

В основу работы СЭПЛ большой мощности положен принцип широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для стабилизации выходного тока дуги, обеспечивающий наиболее экономичный режим работы устройств питания. В таком стабилизаторе регулирующий элемент представляет собой периодически замыкаемый и размыкаемый с постоянной частотой ключ. Стабилизация достигается управлением скважности работы ключа. Чем больше ширина импульсов при постоянной частоте их следования, тем больше величина выходного тока в нагрузке.

В СЭПЛ большой мощности регулирующий элемент выполнен на сильноточных транзисторах с изолированным затвором, что позволило значительно сократить затраты энергии, потребляемой схемой управления, упростить её и повысить надёжность.

В отличие от компенсационного метода, при котором рабочая точка регулирующего транзистора находится в активной области и он поглощает значительную часть энергии, в ключевом способе стабилизации тока дуги транзистор может находиться попеременно либо в насыщении, либо в отсечке, что позволяет предельно сократить потери энергии.

Подача импульсов питания лампы в обоих способах управления током дуги одинакова и происходит по следующей схеме.

При работе лентопротяжного механизма кинопроектора вращается подвижная часть датчика синхронизатора системы питания, установленная на валу обтюлятора маршевого двигателя или на барабане скачкового механизма – в зависимости от типа кинопроектора и удобства крепления.

При периодическом прохождении подвижной части перед считывающей неподвижной частью синхродатчика в моменты времени, заданные работой лентопротяжного механизма, вырабатываются синхроимпульсы прямоугольной формы определенной длительности.

Эти синхроимпульсы поступают на блок управления, задающий току дуги определённый режим – от величины тока дежурной дуги в лампе в моменты продергивания киноленты или светопauses до амплитудной величины тока дуги в моменты проекции кадра на киноэкран.

Для повышения надёжности работы системы питания разработано устройство плавного запуска СЭПЛ, оно также выполняет функцию защиты от короткого замыкания в нагрузке.

Величина амплитуды импульсов тока устанавливается в зависимости от мощности лампы и требуемого уровня освещённости киноэкрана.

Выходной сглаживающий фильтр с блоком поддержки тока дуги при поджиге позволяет «подхватывать» ток дуги в момент пробоя межэлектродного промежутка при возбуждении дугового разряда и снижать пульсацию рабочего тока дуги.

В систему введен источник питания дежурного разряда для поддержания проводимости лампы во время смены кадра и светопauses.

Последовательность работы основных частей СЭПЛ – цепи главного тока, цепи управления, блока синхронизации для обоих типов систем одинакова и заключается в следующем.

При подаче силовой сети 220–380 В 50 Гц срабатывает устройство «мягкого пуска» для плавного включения источника вторичного питания. После появления на его выходе напряжения питания сильноточного генератора автоматически запускается штатное устройство кинопроектора для зажигания дуговой лампы, после чего устанавливается следующий режим горения лампы.

Во время протяжки киноленты и смены кадра, а также во время светопauses при нахождении кадра в кадровом окне через лампу пропускается ток дежурного электрического слаботочного разряда постоянного тока.

После смены кадра его установка в кадровом окне устройство синхронизации посылает сформированный синхросигнал на вход схемы управления для запуска генератора сильноточных импульсов. Ток в лампе возрастает до амплитудного, обеспечивая требуемый световой поток на кадровое окно. За время стояния кадра в кадровом окне синхроимпульсы от системы синхронизации поступают 2–4 раза в зависимости от частоты кинопроекции. В момент начала движения киноленты для смены кадра и во время светопauses сильноточный импульс в лампе прекращается и в лампе горит дежурный разряд, поддерживая лампу в ионизированном состоянии в ожидании поступления последующих сильноточных импульсов.

Сильноточные импульсы тока лампы с заданными амплитудными и временными параметрами, сформированными схемой управления и регулирующим элементом, подаются на дуговую лампу в строго определенные моменты времени, задаваемые устройством синхронизации, связанным с лентопротяжным механизмом кинопроектора. Эти импульсы налагаются на ток дежурного разряда и создают требуемую освещённость экрана. Применение такого способа просвечивания кинокадра, кроме значительного повышения КПД СЭПЛ – до 70% в случае компенсационного метода и до 90% и более в случае использования принципа ШИМ регулятора, позволяет обеспечить безобтюраторную кинопроекцию и отказаться от заслонки в кинопроекторе и её механизма.

Система питания конструктивно выполнена в виде блока прямоугольной формы с вертикальным шасси. Размеры системы питания, например, мощностью 5 кВт составляют 170 мм – высота, 420 мм – ширина, 200 мм – глубина. Система питания укрепляется внутри штатного блока питания кинопроектора, который предназначен для модернизации, или в самом кинопроекторе в зависимости от его типа.

Шасси системы является несущей частью конструкции с двухсторонним размещением основных блоков системы. Он вертикально крепится в модернизируемом блоке питания кинопроектора.

На передней стороне шасси установлены две основные части системы питания: блок коммутации тока дуги – блок сильноточных ключевых транзисторов (или проходной транзистор), смонтированных на охлаждающем радиаторе; плата блока управления и стабилизации амплитуды тока дуги с платой драйвера. Они выполнены в виде съёмного блока, подключаются с помощью разъёма и устанавливаются непосредственно на блоке сильноточных транзисторов.

На задней стороне шасси установлены разрядный сильноточный диод с охлаждающим радиатором, блок сглаживающих конденсаторов, высокочастотный дроссель и выходной сглаживающий фильтр с блоком поддержки тока дуги при зажигании.

Устройство синхронизации подачи импульсов тока с работой лентопротяжного механизма кинопроектора располагается внутри кинопроектора, по схеме и конструкции оно выбирается в варианте наиболее удобного крепления.

Контрольно-измерительный блок устанавливается на лицевой панели базового серийного блока питания либо на панели управления кинопроектора.

Выходные силовые проводники системы питания присоединяются непосредственно к соответствующим выходным клеммам штатного блока питания, в который встраивается система питания.

В настоящее время в киносетях государств СНГ для питания дуговых ксеноновых ламп кинопроекторов

используются десятки тысяч весьма надежных блоков питания постоянного тока. Поэтому, при создании импульсных систем питания для безобтюраторной кинопроекции, было принято решение разработать такую конструкцию, которая позволяла бы модернизировать существующий парк серийных блоков питания кинопроекторов непосредственно в киноаппаратной путём замены отдельных узлов.

Это значительно удешевляет и упрощает процесс перевода кинопроектора на безобтюраторную кинопроекцию и замены источника питания лампы.

Опыт работы в городских кинотеатрах и переписка со специалистами показали перспективность именно такой стратегии перевода кинопроекционной аппаратуры на импульсные системы питания дуговой лампы, что вовсе не исключает возможность изготовления и использования отдельных импульсных блоков питания.

Конструкция системы питания электродуговых ламп мощностью до 1 кВт предполагает её установку в корпус серийного блока питания типа БПК-500 или БПК-1000 или им подобного.

Конструкция системы питания электродуговых ламп мощностью свыше 1 кВт обеспечивает возможность (при незначительных изменениях в длине шасси) установки и в штатных блоках питания кинопроекторов – типа ВКТ-2, ВКТ-3, 50ВУК-100, 50ВУК-120, 49-ВУК-160 и т. п.

Благодаря применению импульсного питания дугового разряда в кинопроекционной лампе и изменению способа стабилизации её тока достигается двухкратное повышение КПД систем питания и, соответственно, снижение энергопотребления. Поэтому в качестве серийного блока питания, т. е. вторичного источника питания целесообразно использовать блоки питания с уменьшенной вдвое – втрое мощностью и, соответственно, габаритами и весом.

Например, для системы питания мощностью 10 кВт удобно использовать выпрямительное устройство кинопроектора типа 50-ВУК-120-1, предназначенное для питания постоянным током ксеноновых ламп осветителей кинопроекторов мощностью 2,5 и 3 кВт. В корпусе этого выпрямителя оставляются только силовой трансформатор и выпрямительные вентили, извлекаются все металлоемкие и весьма габаритные и массивные дроссели насыщения, магнитные усилители и т. д. Вместо них размещается вся система импульсного питания.

После переоборудования такого выпрямительного устройства вес системы питания мощностью 10 кВт не превышает 70 кг при габаритах 500 x 655 x 395 мм. При необходимости сокращения габаритов высоту корпуса можно уменьшить на 40%. После такой модернизации импульсный блок питания устанавливается непосредственно возле кинопроектора (удобнее перед ним). В результате в десятки раз сокращается длина силовых проводов к кинопроектору и освобождается

отдельное помещение, отводимое в киноаппаратной для блоков питания.

Штатный блок питания типа 56-ВУК-300 для кинопроекционной лампы мощностью 10 кВт по весу и габаритам в несколько раз больше.

Для того чтобы расширить возможности использования импульсных систем питания, разработана система импульсного питания в виде модулятора тока лампы кинопроектора. Он изготовлен в виде отдельного прибора небольшого веса и размеров, который крепится непосредственно на кинопроектор или рядом с ним.

В варианте СЭПЛ в виде модулятора тока отсутствует вторичный источник питания.

Эту роль выполняет штатный источник питания кинопроектора, выходные провода которого подключаются к входу модулятора. Выход модулятора подключается к дуговой лампе кинопроектора. При этом один силовой провод является общим и для базового блока и модулятора тока, т. е. «сквозным».

Модулятор тока состоит из коммутирующего ключа со стабилизатором тока лампы, схемы управления и устройства синхронизации. Так же, как и в основном варианте СЭПЛ, в модулятор встроены мультиметр для измерения тока и напряжения горения лампы, а также величины светового потока лампы или освещённости киноэкрана.

Постоянный ток, поступающий от базового источника в модулятор, преобразуется в импульсы тока со стабилизированной и регулируемой амплитудой. Управляемые устройством синхронизации, эти импульсы поступают на дуговую лампу в строго определенные моменты времени. В связи с тем, что в преобразователе имеется стабилизатор амплитуды тока дуги лампы, входное напряжение, подключаемое к модулятору, допускается и нестабилизированным, и для повышения экономичности ферромагнитный стабилизатор тока штатного блока питания лампы может быть отключен.

По принципу действия модулятор тока представляет собой систему питания с широтно-импульсной модуляцией для стабилизации и регулировки выходного тока дуги.

Применение модулятора тока упрощает технологию перевода киноустановки на импульсный режим работы дуговой лампы, снижает потребление электроэнергии и увеличивает эффективный световой поток кинопроектора.

### Результаты испытаний

В результате проведенных испытаний, методика и аппаратура которых подробно изложены в [4,5], установлено следующее:

1. При равенстве эффективного значения тока дуги лампы, работающей от системы импульсного питания, постоянного тока штатного источника питания

- кинопроектора световой поток на экран возрастает в два раза.
2. Использование системы импульсного питания лампы позволяет в 4 раза сократить потребление электроэнергии от питающей сети переменного тока при сохранении уровня освещённости экрана.
  3. При использовании систем импульсного питания кинопроекторной лампы не отмечено появления «тяги» или других искажений изображения кадра.
  4. При использовании систем импульсного питания кинопроекторной лампы не отмечено появления помех звуковому сопровождению фильма.
  5. Снижение общего времени горения лампы за сеанс в два раза снижает выделение тепловой энергии в осветителе и тепловую нагрузку на оптические и механические узлы кинопроектора, что повышает надёжность их работы. Измерения показали, что температура анода лампы при импульсном питании снижается на 350-400° и становится ниже чем при постоянном токе. В два раза снижается также тепловой поток на зеркало осветителя, уменьшается его температура и, следовательно, повышается его ресурс.
  6. Использование импульсного питания лампы позволяет снять обтюратор, что снижает уровень шумов и вибрации во время работы кинопроектора и улучшает условия работы обслуживающего персонала.
  7. Не отмечено сокращения ресурса серийной ксеноновой дуговой лампы постоянного тока мощностью 3 кВт, работающей в кинопроекторе в режиме прямоугольных импульсов тока с пиковой мощностью 5 кВт.
  8. Работоспособность системы импульсного питания сохраняется при непрерывной работе в течение 6 и более часов.

В заключение следует отметить, что работа по созданию и испытанию описанных СЭПЛ проводилась силами ряда организаций: НИИ ПФП БГУ (г. Минск), ОКБК (г. Одесса), Минский механический завод (г. Минск), СПбГУКиТ (г. С.-Петербург), УП «Киновидео-прокат» (г. Минск). Автор выражает сотрудникам этих организаций искреннюю благодарность за многолетнее благотворное сотрудничество.

(продолжение следует)

#### Литература:

1. Кинопроекторная техника. Под ред. С. М. Проворнова. М.: Искусство, 1966. с. 64.
2. Лалшин В. А., Петров, К. И. Галиновский С. А. Устройство питания ксеноновой лампы кинопроектора. Авт. Свидетельство № 1837251. 1992.
3. Лалшин В. А., Лобач Н. Г., Шарманов С. В. Источники питания для безобтюраторной кинопроекции // Техника кино и телевидения. 1999. № 7.

4. Апальков Н. К., Лалшин В. А., Лобач Н. Г., Скугаревский В. А., Чернышов Н. А. Импульсные источники питания для кинопроекторных ламп // Техника кино и телевидения. 2002. № 4.
5. Тихомирова Г. В., Лалшин В. А., Кирпишин Ф. И. Пути устранения заметности мельканий изображения в кинематографе // Техника кино и телевидения. 2002. № 4.
6. Белоусов А. А., Гребенников О. Ф. Гусев В. В., Гусев В. П. Куклин С. В., Лалшин В. А. Безобтюраторная кинопроекция // Техника кино и телевидения 2002. № 2.
7. Киричанский А. В., Усятинский Я. Б. Электропитание ксеноновых ламп. М.: Искусство. 1976. с. 4.
8. Векслер Г. С. Электропитание спец аппаратуры. Киев. Вища школа, 1979. с. 339.

### Виртуальная реальность как объект изучения

Виртуальная реальность? По всей видимости, отныне этот красивый и ненастоящий мир станет средой обитания не только миллионов любителей компьютерных игр, но и множества серьезных ученых, исследователей и студентов. В Университете Аризоны технологии, используемые для создания большинства видеоигр, отныне станут фундаментом для изучения наук – медицины, образовательной психологии.

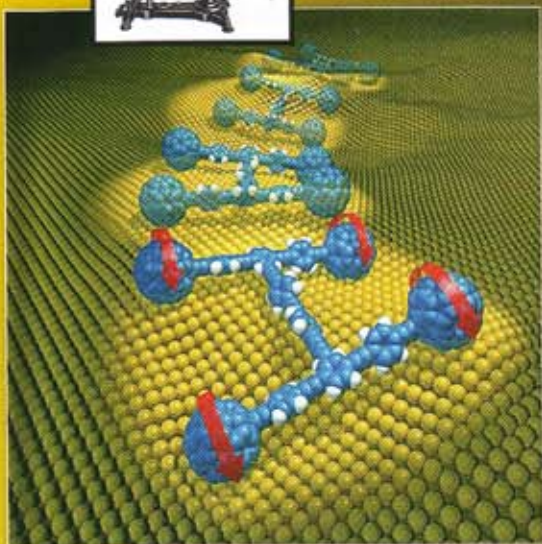
Дэвид Сорен (David Soren), один из профессоров университета, вместе с другими профессионалами сегодня работает над совершенствованием проекта Arizona Laboratory for Immersive Visualization Environments (AZ-LIVE), чтобы вскоре получить возможность воссоздать забытые миры и эпохи.

AZ-LIVE – проект, позволяющий любому сотруднику, студенту погрузиться в трёхмерный мир, сгенерированный компьютером. Для этого учёные применяют машинную 3D-графику, стереоскопию, многоканальные акустические системы, что позволяет воссоздать мир, который сможет взаимодействовать со зрителем, создать иллюзию, будто человек находится в виртуальной, но реальности.

Марвин Ландис (Marvin Landis), координатор и научный эксперт AZ-LIVE, отметил, что этот синтетический мир сводит вместе исследование, инструкцию и технологию. По его словам, в около 20 университетов США уже имеются наработки, подобные AZ-LIVE. К тому же, эта система может стать отличным подспорьем в образовательной программе. Как вы думаете, лучше изучать медицину, химию, искусство и другие науки сидя за столом в аудитории или находясь в виртуальном мире?

Сейчас AZ-LIVE помогает ученым воссоздавать идентичную копию известного итальянского археологического памятника – Chianciano Terme. Дэвид Сорен убежден, что вскоре обыватель сможет воочию полюбоваться жизнью и былым существованием этих мест, услышать шум ветра, воды в красивом и идентичном с настоящим, но синтетическом мире.

[www.ve-group.ru/news](http://www.ve-group.ru/news)



А.Городников,  
к.т.н., ОАО НИКФИ

# ПЕРСПЕКТИВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

## В КИНЕМАТОГРАФИИ

Отрадно, что сегодня развитию нанотехнологий в России уделяется повышенное внимание на самом высоком уровне.

В прежнее время, как бы его ни критиковали, было немало крупных научных и инженерных проектов, которые работали на престиж страны. И эти проекты – к ним в полной мере можно отнести и создание советской киноиндустрии, – формировали идеологию общества, его национальные ценности, вдохновляли молодежь. Способны ли отечественная наука и техника предложить уже в недалекой перспективе равномасштабные по значимости проекты российскому обществу? В частности, в технологическом, а затем и в творческом направлениях развития завтрашнего кинематографа и массовых многомерных зрелищ будущего, где сегодня иногда кажется, что всё былое утеряно безвозвратно, включая некогда крупнейшую в мире сеть кинопоказа.

Мне представляется, что таким проектом в стране вообще, и в кино, в частности, могут стать нанопроекты и нанотехнологии, мировая гонка по освоению которых только началась. Это, в известной степени, уравнивает стартовые возможности всех соревнующихся на новом уровне. Нанотехнологии – это не просто новые материалы и вещи из них, как иногда полагают, это скорее новые сущности, требую-

щие переворота не только в науке и технике, но и в мышлении.

Что же такое НАНОТЕХНОЛОГИЯ?

Энциклопедический словарь определяет технологию (от греч. «techne» – «искусство», «мастерство», «умение» + «logos» – «наука») как совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния (свойств, формы) первоначального сырья в процессе производства конечной продукции.

Нанотехнологии определяются как совокупность методов и приёмов манипулирования веществом на атомном и молекулярном уровнях с целью производства конечных продуктов с заранее заданной атомной структурой.

Ключом к пониманию нанотехнологий является то, что они предлагают не просто улучшенные продукты – нанотехнология означает значительное улучшение самих средств производства. Производство промышленных нанопродуктов может стать таким же дешёвым, как копирование компьютерных файлов. Это настоящее назначение нанотехнологии. Именно поэтому её часто рассматривают как «промышленную революцию».

Сейчас мир находится на пороге эпохи «глобального конструктора легко собираемых игрушек». Нанотехнологии позволяют манипулировать частицами на уровне размеров молекул и атомов (порядка десять



в минус девятой степени метра) и строить из них, как из кубиков, принципиально новый окружающий мир. И главное здесь — умение строить. Ведь новые изделия и товары сегодня часто создают дизайнеры, люди гуманитарного творчества, а умение создавать объекты на новом физико-химическом уровне подвластно людям, обладающим информацией и высокими технологиями. Сначала человек перевел в цифру информацию, что привело к появлению компьютеров и нового качества связи. И лишь теперь, на базе накопленных обществом знаний, с помощью нанотехнологий в цифру переводится сама материя. Материальная сфера будет полностью оцифрована, аналоговый мир устареет, массовые индустриальные технологии завтрашнего дня уже не будут требовать таких, как сегодня, объемов и затрат сырья, энергии, трудовых ресурсов.

Думаю, что больше не стоит подробно объяснять читателям, что такое нанотехнологии, от которых в недалеком будущем ожидается сильнейшее влияние на многие, ранее консервативные базовые области, в том числе и на материаловедение, электронику, хранение информации. Достаточно сказать, что по нанотехнологиям в авторитетной международной организации по стандартизации — Международной Электротехнической Комиссии (МЭК) в сентябре 2006 г. был открыт соответствующий специализированный комитет ТК113.

Если XX век был эпохой революционных открытий практически во всех областях науки и техники, то XXI век обещает стать веком нанотехнологий. Ещё в 1959 г. американский физик Ричард Фейнман предположил, что со временем многие материалы и приборы будут создаваться на молекулярном или даже атомарном уровне, что сулит фантастические перспективы. Но чтобы манипулировать столь малыми объектами, необходима измерительная и рабочая аппаратура нового поколения.

Реализовать замысел помог открытый в начале XX века туннельный эффект, возникающий между двумя проводящими веществами, расположенными на таком расстоянии, чтобы волновые функции электронов перекрывались. В результате выяснилось, что с помощью очень тонкой иглы можно получать информацию о строении материи на атомном уровне.

В 1966 г. американский учёный Рассел Янг сконструировал прибор, работающий по этому принципу, однако открытие не было востребовано. Второе свое рождение оно получило в 1981 г., когда специалисты Цюрихского объединения IBM Г. Биннинг и Г. Рорер разработали прибор, действующий по аналогичному принципу, и назвали сканирующим туннельным микроскопом. Устройство позволяло наблюдать каждый атом в отдельности, причем в заданных точках. Рабочим органом прибора — зондом — служила токопроводящая металлическая игла. Зонд подводился к изучаемой поверхности очень близко, на десятые доли ангстрема, при подаче постоянного напря-

жения между ними возникал электрический ток. После компьютерной обработки информации о перемещении зонда можно было «увидеть» рельеф поверхности объекта с необходимым разрешением.

В 1986 г. в той же лаборатории были созданы зондовые микроскопы второго поколения — атомно-силовые. В них сканирующее устройство было устроено подобно патефону: острая иглочка (зонд) прикреплялась к одному концу плоской упругой пластинки из тонкой платиновой фольги — кантилевера, а другой её конец крепили в держателе. В ходе сканирования игла, повторяя рельеф изучаемой поверхности, заставляла кантилевер колебаться и поворачиваться вокруг продольной оси. В 1993 г. появились приборы, использующие резонансный метод, при котором измерения проводят вибрирующим кантилевером, колебания которого возбуждают внешний пьезогенератор. При его приближении к объекту характер колебаний становится иным. Причем изменение амплитуды в основном зависит от рельефа поверхности, а фаза чувствительна к ее физическим свойствам. (Кстати, позже наш соотечественник, физик Виталий Фролов предложил использовать уже другой, конфокальный сканирующий микроскоп наноразрешения для неповреждающего воспроизведения архивных носителей механической звукозаписи — редких фоноликеров и грампластинок).

Иглы различной модификации позволяют сканирующим зондовым микроскопам выявлять свойства исследуемых материалов. Например, если зонды имеют токопроводящую поверхность, тогда можно измерить относительное распределение поверхностного сопротивления и емкости, а также электрические характеристики приповерхностных структур. Зондами, проводящими электрический ток с диэлектрическим покрытием, устанавливают распределение приповерхностных магнитных полей, ёмкости и т. д. Зондовые микроскопы способны также модифицировать различные поверхности и менять их структуру, скажем, методом литографии с нанометровой точностью. О ювелирной тонкости подобного метода говорит такой пример: «нарисованные» таким образом портреты всех россиян с их биографиями уместились бы на небольшой пластине размерами 333 см<sup>2</sup>.

Сегодня различные СЗМ выпускают ряд иностранных фирм, такие как Digital Instruments, Molecular Imaging (США) и т. д. Огромный вклад в развитие нанотехнологии внесла и отечественная наука. Так, в 1993 г. в Зеленограде была создана компания ЗАО «Нанотехнология-МТД», которая изначально стала выпускать высококачественные сканирующие зондовые микроскопы самых различных модификаций и назначений и комплектующие к ним. На базе основных серий — «СМЕНА» и «СОЛБЕР» — можно «набрать» около 20 вариантов «машин», позволяющих определять до 43-х характеристик изучаемого объекта. Это единственная российская фирма, вышедшая

на мировой рынок и занявшая там передовые позиции.

Помимо усовершенствования приборов и их возможностей, в России занимаются подготовкой нового поколения учёных, которые будут работать в области нанотехнологий. В 2003 г. в Государственном университете им. Н. И. Лобачевского (Нижний Новгород) открылась первая в мире учебно-научная лаборатория сканирующей зондовой микроскопии NanoEducator. Она включает в себя пять базовых сканирующих учебных микроскопов (эти приборы — так же «детище» ЗАО «НТ-МДТ»), учебное пособие по основам СЗМ, спектроскопии и нанолитографии, лабораторный практикум с набором учебных образцов.

Кроме технического усовершенствования и создания новых приборов, это — единственная в мире фирма, которая разрабатывает новую концепцию развития самих нанотехнологий, планируя создать глобальную нанотехнологическую систему, объединяющую базы данных, методы исследования и разработки новых материалов. Такие возможности позволят учёным приблизиться к пониманию единства живой и неживой материи. Именно в этом — единственный путь развития нанотехнологий, который станет ведущим направлением развития науки в XXI веке.

Всё больше интереса проявляет к вовлечению в работы по нанотехнологиям ряд передовых предприятий и организаций страны. В регионах РФ уже есть интересные теоретические и практические разработки в этом направлении. Например, создана установка для получения нанотрубок и нановолокон, ведётся разработка суперконденсатора на основе нанотехнологий. Имеются интересные наработки в сфере наноматериалов, нанопорошков и нанопокровов.

С веществом в виде порошков мы встречаемся очень часто и в быту, и в производственной деятельности. Обычно мы имеем дело с порошками, у которых размеры частиц составляют десятки и сотни микрон. Даже в порошковой металлургии используются в основном порошки с частицами размером более 10 мкм. Поскольку

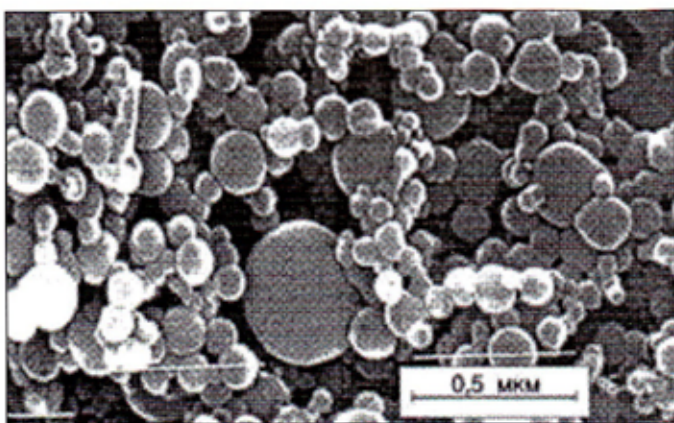


Рис. 1 Микрофотография частиц железа

вещество, при переходе от грубодисперсного состояния к состоянию с размером частиц  $< 100$  нм, резко изменяет ряд своих фундаментальных свойств, то для обозначения этого отличия, в середине 70-х годов прошлого века, в СССР был предложен термин «ультрадисперсные порошки» (УДП). В настоящее время, на Западе и у нас, для обозначения подобных сред используется термин нанопорошки (НП). Интерес к нанодисперсным материалам связан с тем, что они находят всё более широкое применение в качестве исходного сырья при производстве керамических и композиционных материалов, сверхпроводников, солнечных батарей, фильтров, геттеров, присадок к смазочным материалам, красящих и магнитных пигментов, компонентов низкотемпературных высокопрочных припоев и др. По мере выполнения фундаментальных и прикладных исследований этот перечень быстро расширяется. Многие из применений уже реализованы, другие находятся на стадии разработки, но большая часть возможных применений НП остаётся пока нетронутой. Основные достижения и перспективы использования НП связаны с отработкой технологии получения порошков с «особыми» свойствами, например, такими как:

1. очень низкие температуры спекания  $< 100^\circ \text{C}$  ;
2. высокая химическая активность ;
3. наличие избыточной (запасенной) энергии (послесвечение).

Изменение фундаментальных свойств традиционных материалов в нанодисперсном состоянии (понижаются: температура начала плавления, теплота испарения, энергия ионизации, работа выхода электронов и др.) открывает широчайшие возможности в области создания новейших материалов и технологий, принципиально новых приборов, устройств, веществ и продуктов на их основе.

Как у всех новаций, есть скептики и у нанотехнологий. Пока некоторые размышляют о том, опасны ли фуллерены и другие наночастицы, всем известная косметическая фирма Л'Ореаль уже использует в своих продуктах наносомы (нанокапсулы с полезными веществами и витаминами) для лучшей доставки питательных веществ в клетки кожи.

Как известно, серебро убивает бактерии. Фирма Nucrust Pharmaceuticals уже освоила производство покрытий с серебряными наночастицами для лечения хронических воспалений и открытых ран. Сейчас проходит второй этап клинических испытаний нанокристаллического серебра в качестве противовоспалительного средства. Новое покрытие уже успешно лечит экзему. Наночастицы серебра убивают до 150 видов бактерий в течение 30 минут. Продолжительность антибактериального действия покрытия — несколько дней. Наночастицы также попадают в кровь и действуют как противовоспалительное средство. Частицы серебра име-

ют размеры от 10 до 30 нм в длину. Фирма планирует ежегодно производить покрытия размерами до 150 тысяч квадратных метров. Продукт будет общедоступен для всех желающих—нужно будет просто пойти в аптеку. Возможно, новые покрытия будут продаваться в виде бактерицидных пластырей.

А пока компания Nucrust прикидывает, российский Институт нанотехнологий МФК уже проводит испытания домашних антибактериальных фильтров на основе серебряных наночастиц отечественного производства, превосходящих по своим характеристикам частицы Nucrust.

Не отстают россияне и в материаловедении. Так, концерн «Наноиндустрия» выпустил специальный восстанавливающий состав на основе адаптивных наночастиц, который может защитить от износа практически любые трущиеся металлические поверхности! Если залить такой состав в картер автомобиля, можно надолго забыть об износе двигателя. Дело в том, что при работе механические части нагреваются от трения, тем самым катализируя присоединение металлических наночастиц к поврежденным областям. А при сильном нагреве от избыточного наращивания наночастицами деталей они утрачивают свою способность к присоединению. Таким образом, в трущемся узле постоянно поддерживается тепловое равновесие, и детали практически не изнашиваются.

IBM создала прототип устройства памяти «многоножка» (Millipede), первое наноустройство хранения данных. Компания ожидает, что эта переломная технология завоюет рынок к 2007 году. Новинка состоит из записывающей матрицы манипуляторов, включающей в себя 4096 кантилеверов, выполненных как устройства чтения-записи (подобные кантилеверы используются сейчас в электронных и атомно-силовых микроскопах). Правда, у прототипа пока вчетверо меньше кантилеверов, но это не мешает сделать вывод о благоприятных рыночных перспективах продукта.

IBM уже способна изготавливать «многоножки» серийно на базе кремниевых МЭМС. Однако «многоножка» — не простой жесткий диск, где головки не прикасаются к магнитной поверхности. Это устройство представляет собой «чистую» цифровую технологию. Принцип его работы сравним с работой проигрывателя грампластинок, в котором считывающая вибрирующая игла скользит по борозде, несущей информацию. Только у «многоножки» есть ряд кантилеверов, которые скользят по поверхности хранения данных, на которой есть углубления, кодирующие «1» и «0». Таким образом, отклонения кантилеверов от равновесного положения переводятся в набор нулей и единиц.

Первые практические применения уже накопленных фундаментальных знаний принесли нанотехно-

логии первого поколения, например, в виде сверхтонкодисперсных порошков, растворов и покрытий на их основе, которые обладают свойствами несмачиваемости, отторжения инородных тел, самоочистки и защищают от пыли и грязи пластик, стекло, ткани, оптические и осветительные приборы. Другие сверхтонкодисперсные порошки обладают эффектом послесвечения, что позволяет, например создавать новые типы рекламных и информационных вывесок, видимых ночью в отсутствие или при отключении электроэнергии, например, энергонезависимых табло Выход в зрительных залах кино и театров и т. п. Бактерицидные нанокраски уже дезинфицируют воздух в общественных местах, нанопокрывают снижают трение и восстанавливают металлические и другие трущиеся поверхности, упрочняют, но не утяжеляют их конструкции.

В учреждениях культуры, музеях, архивах, в кинематографии может быть поставлено много задач, решаемых путем использования наносодержащих покрытий:

а) защита старых архивных бумажных и др. документов, фото- и киноплёнок с желатиновым фотослоем путем нанесения наносеребряного и т. п. покрытий, при архивировании, долговременном или выставочном хранении;

б) защита от царапин, механических повреждений и от пыли оригиналов фильмовых материалов и фильмокопий для кинопроката;

в) снижение трения и износа киноплёнок в фильмовом канале традиционных киносъёмочных аппаратов;

г) создание кино- фото носителей (плёнок и бумаг) со сверхтонким, одномолекулярным (толщиной в одну молекулу), наносеребряным слоем;

д) нанесение нанопокрывать на кино- фотооптику для защиты от влаги, пыли и грязи в полевых условиях съёмки, кинопроекции;

е) упрочнение, снижение трения, увеличение срока службы механической транспортной системы киноплёнки в плёночных кинопроекторных аппаратах;

ж) улучшение отражающих свойств, обеспыливание и создание «вечно чистых» киноэкранов, плёночных фильмовых материалов путем нанесения прозрачных защитных нанопокрывать;

з) улучшение санитарно-гигиенических условий в общественных местах, театрах, клубах, библиотеках, залах, музеях, кинотеатрах, архивах путём окраски стен и мебели видимыми и невидимыми защитными антибактериальными нанокрасками;

и) создание активных составных киноэкранов для цифрового кинематографа из элементарных экранов, например, на основе углеродных нанотрубок.

Революционные изменения в классической оптике на основе нанотехнологий позволят значительно увеличить плотность оптической записи. Так как гигабайты оцифрованных видео-, кинофильмов, картинок, музыки и текста наполняют всё больше и больше CD и DVD, то, очевидно, появляется нужда в создании способов для хранения

большого объёма информации. Это особенно важно при переходе к цифровому театральному кинематографу, в свете задачи оцифровки культурного кинонаследия, где терабайтные объёмы визуальной информации станут повседневностью. Новое нанооптическое устройство сможет сфокусировать свет лазера тоньше, чем традиционная оптика. Это позволит создать носители с более высокой плотностью размещения ячеек памяти.

Исследовательская команда из Гарвардского Университета разработала технологию, которая поможет существенно увеличить ёмкость традиционных оптических дисков. Они изготовили наноантенну, которая фокусирует свет в намного меньшую точку, чем это возможно даже при использовании лучших традиционных линз. Это позволит записать на один оптический диск большее количество бит. Ёмкость диска увеличивается, когда длина волны света, используемая для записи информации на него, уменьшается. CD диски читаются и записываются при длине волны 780 нанометров, DVD диски — при длине волны 650 нанометров, HD-DVD и Blu-ray диски — при длине волны 405 нанометров. Длины волн короче 405 нанометров будут требовать применения источников света, стоимость которых будет намного выше стоимости электронной техники. Проблема в том, что обычные линзы могут фокусировать свет до половины его длины волны. Этот физический барьер называется «дифракционным лимитом». Учёные Гарвардского Университета преодолели этот лимит, отдав предпочтение нанооптической технике вместо традиционной оптики. «Мы можем обойти ограничение длины волны, используя антенну», — говорит Кен Крозиер, доцент электротехники в Гарварде.

Компьютерная модель оптической наноантенны, которую изготовили исследователи из Гарвардского Университета, состоит из двух покрытых золотом наностержней, разделенных 30-сантиметровым разрывом, эта антенна может фокусировать свет от обычного лазера в точку всего в 40 нанометров шириной. Такие возможности могут использоваться для записи терабайт информации.

Команда Крозиера, в которую вошли Федерико Капассо, профессор прикладной физики, аспиранты того же университета Эрик Корт и Эртугрул Кубуксию, разработала оптическую антенну для фокусировки света коммерческого лазера (работающего при длине волны в 830 нанометров) в точку размером всего в 40 нанометров. С таким разрешением возможно «уложить» более трёх терабайт (3.000 гигабайт) информации на такой же площади, как у обычного CD, подсчитали ученые. Этого будет достаточно, чтобы записать 300 полнометражных фильмов. Для сравнения: двухслойный HD-DVD и Blu-ray могут хранить 30 и 50 гигабайт соответственно.

«Эта антенна состоит из двух покрытых золотом наностержней, разделенных 30-нанометровым разрывом, — говорит Крозиер, — когда свет от лазера попадает на наностержни, он прикладывает силу к электронам золота, заставляющую их сдвигаться с места. Электроны не остаются смещенными на длительное время и возвращаются на свою исходную позицию. Но они не попадают на неё и снова отдаляются от своего места, постоянно колеблясь».

Такие колеблющиеся электроны влияют на крошечный разрыв между наностержнями. Таким образом, позитивные заряды собираются на одной стороне разрыва, а негативные — на второй. Наностержни и разрыв работают как крошечный конденсатор, который эффективно концентрирует энергию лазера в точке размером с этот разрыв. Эта точка сохраняет размер на расстоянии приблизительно 10 нанометров от антенны, прежде чем она начинает расширяться.

«Хотя 10-нанометровый разрыв очень мал, учёные смогут построить новый тип оптических устройств для чтения и записи информации при помощи этой технологии», — полагает Крозиер. «Индустрия магнитных запоминающих устройств работает с приблизительно такими же крошечными промежутками между головкой и носителем информации», — подчеркивает он.

Ещё одно направление, которому в современной кинематографии уделяется все больше внимания — это создание стерео (3D) и многомерных (4D) систем кинопоказа с дополнительной, экстрасенсорной поддержкой, включающей ароматизацию, вибрацию, брызги и др. Причём уже разрабатываются системы, где дополнительное воздействие на зрителя будет реализовано не физически, а физиологически, т.е. не путем возбуждения органов чувств, а воздействием слабыми полями, например ультразвуком, непосредственно на зоны в мозгу, отвечающие за определенные ощущения человека.

Появление новых типов экранов, наряду со стремительным внедрением цифрового кинематографа также может изменить привычные технологии кинопоказа, форму кинозалов, отменить требование затемненности. Уже появились первые коммерческие образцы активных составных экранов большого размера, которые по яркости, разрешению и контрастности значительно превышают параметры цифровых кинопроекторов и при этом сравнимы с ними по стоимости.

Из наноматериалов могут создаваться сверхпрочные и легкие поверхности, плёнки, тросы, серебросодержащие недорогие отражающие покрытия, кино- фотоматериалы и защитно-дезинфицирующие покрытия для них, прочные и немаркие (по сути — вечные) художественные костюмы для актёров и защитные — для каскадёров, лёгкие, прочные, негорючие

декорации, занавесы, пассивные отражательные и активные самосветящиеся экраны.

Для обработки и хранения информации разрабатываются новые изделия нанoeлектроники. Для построения активных составных экранов произвольного размера, позволяющих получить слитное изображение кинотеатрального качества на незатемненном экране, видимое под углами зрения до 160-170°, разрабатываются специальные светоизлучающие элементы. Исследовательская лаборатория компании Motorola представила действующий прототип цветного дисплея на основе эффекта наноэмиссии (NED, Nano Emissive Display) с диагональю 5 дюймов на базе нанотрубок с использованием технологии CNT (Carbon Nanotube Technology). Новая разработка явилась прорывом в мир, где широкоформатные, плоские и при этом весьма недорогие и долговечные экраны телевизоров и компьютеров из фантастики станут обыденной реальностью. Новый экран будет создан в ближайшей перспективе на основе широкоформатного телевизионного экрана стандарта HDTV, который будет иметь менее 1 дюйма (2,5 см) в толщину.

«Основываясь на нашем 15-летнем опыте и 160 патентах в области углеродных нанотрубок и плоских экранов, мы разработали технологию, открывающую перспективу создания нового поколения плоских крупноразмерных экранов, обеспечивающих непревзойдённое качество изображения, и при этом со значительно меньшей стоимостью, чем сегодняшние модели, — заявил Джим О'Коннор, вице-президент компании Motorola по вопросам развития технологий и их коммерциализации. — В настоящее время мы ведем совместно с производителями дисплеев работу по дальнейшему продвижению технологии и созданию на ее основе коммерческих продуктов».

«Технология NED компании Motorola наглядно демонстрирует возможность отображения полноцветного видео с хорошим временем отклика, — отмечает Барри Янг, вице-президент и руководитель финансового департамента компании DisplaySearch, ведущей компании в области исследования рынка плоских дисплеев и консалтинга. — Результаты подробного стоимостного анализа свидетельствуют, что себестоимость производства панели дисплея на основе технологии NED с диагональю 40 дюймов (около 1 метра) составит менее \$400 США». «Motorola доказала, что её технология NED полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к устройствам для полноценного воспроизведения видео, — считает Кимберли Аллен, директор по стратегии и технологиям дисплеев аналитической компании iSupply. — Непосредственное выращивание углеродных нанотрубок на стеклянной подложке предпочтительней, чем метод с использованием пасты и печатных технологий, и позволяет

создать на его основе более крупные и более сложные дисплеи».

Сегодня цифровой кинематограф театрального качества ассоциируется у скептиков с пугающими цифрами в сотни Гигабит и единицы терабит, требуемых для хранения одного двухчасового кинофильма. Дальнейшие планы ученых из Bell Labs напоминают даже не фантастику, а чистое прожектёрство. Тем не менее, в лаборатории ведутся работы над созданием устройства размером с мяч, которое позволит обрабатывать петабитные — миллиарды гигабит — объёмы данных. «Если все мобильные абоненты в мире позвонят друг другу одновременно, объём данных составит как раз примерно петабит, — говорит г-н Бишоп. — Для обработки подобных потоков информации потребуется целый город из одной электроники и атомная электростанция впридачу». В представлении специалистов Bell Labs в петабитном коммутаторе будут использоваться микрзеркала, создаваемые на кремниевой подложке методами самосборки, а также нанотехнологическими методами. Они позволят обрабатывать и оптические, и электрические сигналы, причем с намного большей эффективностью и скоростью, нежели это возможно сегодня.

Заглядывая в будущее, можно предположить, что нанотехнологии станут реальной основой создания новых массовых зрелищ и индивидуальных развлечений, основанных на обработке, передаче и воспроизведении значительно больших, чем сегодня, объемов оцифрованной многомерной информации. Это, в свою очередь, приведёт к действительно реалистичному голографическому отображению окружающего трехмерного мира со всеми его нюансами четвертого и последующих чувственно-эмоциональных измерений, откроет иные выразительные, изобразительные возможности для экранных искусств, которые, несомненно, выйдут из плоскости восприятия в новое изобразительно-эмоциональное пространство.



# Вакуумное туннелирование:

## НОВАЯ МЕТОДИКА В МИКРОСКОПИИ

И.Ф.Куйт

Перевод статьи: Guate C.F. Physics Today,  
August 1986. P. 26.

### Истоки возникновения нанотехнологии и основной измерительный инструмент – туннельный микроскоп.

Сканирующий туннельный микроскоп разрешает отдельные атомы на поверхности с помощью зондирования волновых функций поверхностных электронов кончиком чрезвычайно острой иглы и открывает нам новый мир ступенек, террас и атомных слоев.

Я познакомился с вакуумным туннелированием в апреле 1982 г. высоко над Атлантическим океаном во время своего полёта в Лондон. Несколько месяцев, предшествующих этому полёту, я провёл в мучительных поисках темы дальнейшей работы для нашей группы микроскопических исследований в Стэнфорде. Мы только что закончили работу над акустическим микроскопом и искали новые направления. Я перебрал несколько задач типа постройки рентгеновского микроскопа, но ни на чём не остановился. Я думал, что во время поездки на конференцию в Лондон мне удастся отключиться и поразмышлять. По дороге в аэропорт я заехал к себе в офис и забрал последний номер журнала (Physics Today, April 1982). По-моему, где-то над Исландией я открыл его и обнаружил статью, посвященную новому типу сканирующего микроскопа, разработанному в Цюрихе. В Лондоне я изменил план своей поездки и выехал в Цюрих. Эта поездка для нашей группы оказалась началом авантюры, которая продолжается до сих пор, причем волнение её участников не ослабевает.

В Цюрихе я увидел очень простой микроскоп, который тем не менее позволял легко разрешать моноатомные ступеньки на поверхности кристалла. Его техническое исполнение было очень изящным. Кончик исключительно тонкой иглы подносился настолько близко к поверхности образца, что волновые функции электронов

кончика иглы начинали перекрываться с волновыми функциями поверхностных электронов. Приложение небольшого напряжения между поверхностью и зондом приводило к туннелированию электронов сквозь вакуум. Поскольку электронные волновые функции спадают с расстоянием экспоненциально, туннельный ток исключительно чувствителен к расстоянию между кончиком иглы и поверхностью. В результате при сканировании зонда по образцу детали поверхности атомного размера проявляются как изменение туннельного тока.

Подробности первого посещения Цюриха ещё живы в моей памяти. Я ничего не знал о вакуумном туннелировании, но был убежден, что разберусь в вакуумном туннельном приборе, если увижу его. Я встретил трёх членов группы, работающих в этой области: Генриха Рорера – человека, обладающего талантом выбора новой области исследования в нужное время, Герда Биннига, наделённого решимостью исследовать неуловимые свойства атомов, и Кристофа Гербера – человека с большим запасом добродушия и способностью заставлять работать все, что должно работать. Мне позволили заглянуть в огромную книгу, раздувшуюся от накопившихся экспериментальных записей, похожих на морские карты. Я мельком увидел новый для себя мир – мир ступеней, уступов, атомных рядов.

Изображения, получаемые с помощью сканирующего туннельного микроскопа, дают характерную и точную информацию. Во время визита в Цюрих я записал: «Разрешение  $4\text{Å}$  (поразительно)». С тех пор поперечное разрешение уменьшено до  $1\text{Å}$ , а регистрируемый сдвиг атомных рядов имеет ещё меньшую величину. Возможно также обнаруживать складки высотой  $0,01\text{Å}$ . Такая точность, которая до сих пор была недостижимой, даёт

теоретикам новый стимул для работы в области поверхностных структур. Без теоретических результатов, полученных во многих местах, начиная от исследовательских лабораторий фирм ИБМ, «Белл», «Ксерокс» и кончая Мадридским и Римским университетами, понять эти изображения было бы невозможно.

То, что я увидел в первые минуты своего пребывания в Цюрихе, определило дальнейшую программу наших исследований в Стэнфорде. Я вернулся домой, рассказал про получаемые картины нашим аспирантам и убедил одного из них, Скотта Элрода, изменить тематику работы. Он располагал только грубыми эскизами, которые я привёз из Цюриха, и, пользуясь лишь ими, сумел построить сканирующий туннельный микроскоп. Результатом его упорной работы стала диссертация—первая из диссертаций, посвященных туннельной микроскопии.

### Четыре поколения

Микроскоп, который я увидел в Цюрихе, был прибором «второго поколения». Аппарат «первого поколения», построенный в 1981 г., был сложным устройством, в котором использовалась сверхпроводящая металлическая чаша в качестве подвеса. Благодаря ей вся система висела в магнитном поле, что позволяло подавлять низкочастотные вибрации, которые ощущались в лаборатории. Я хотел осмотреть это устройство, чтобы понять, насколько существенную роль оно играет в приборе. Но мне не удалось этого сделать—по-видимому, при изготовлении прибора второго поколения сверхпроводящая чаша исчезла. В новой модели её заменил демпфер на вихревых токах. Упрощение конструкции по сравнению с первой было впечатляющим. Многие исследователи применяли схему прибора именно второго поколения, так как в ней сочетались хороший замысел и надёжная конструкция.

Интересная деталь: если бы я попал в Цюрих на год позже, то меня бы отпугнул прибор «третьего поколения». Конструкция прибора третьего поколения снова стала довольно сложной. Он был гораздо больше; башнеподобная конструкция была выполнена целиком из кварца, чтобы избавиться от теплового дрейфа зонда; демпфирующие магниты находились далеко от образца, чтобы уменьшить влияние рассеянного магнитного поля на измерительные приборы. Мы назвали эту конструкцию «кварцевый эшафот». Он в свою очередь тоже исчез. Его заменил прибор «четвертого поколения», который настолько мал, что заслужил название карманного микроскопа.

### Начало работы

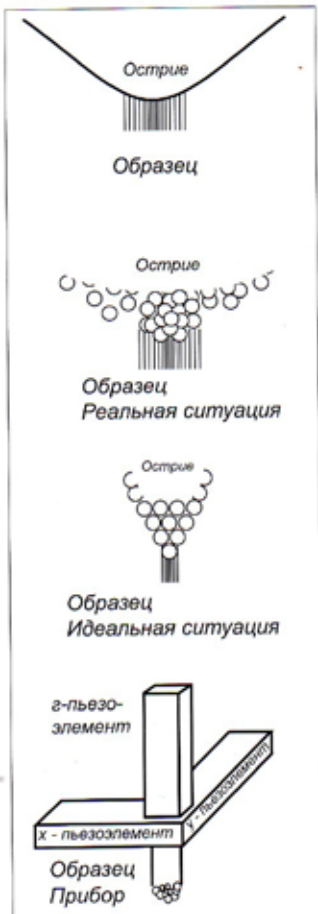
Идея сканирующего туннельного микроскопа родилась во Франкфурте, где в 1978 г. произошел разговор между Г. Рорером и Г. Биннингом—в то время аспирантом

Франкфуртского университета им. В. Гёте. Рорер обрисовал программу исследований по физике поверхности, которую намечалось провести в лаборатории фирмы ИБМ в Цюрихе. Во время обсуждения Биннинг высказал мысль, что вакуумное туннелирование может быть подходящим методом для новых исследований. Прибыв в ноябре того же года в Цюрих, Биннинг сразу же принялся разрабатывать новую идею: каким должен быть зонд, как осуществить сканирование поверхности.

Биннинг хотел сканировать поверхность тонким зондом, может быть, металлическим вискером, но серьёзной помехой оказались тепловые колебания. Он скоро понял, что амплитуда зависит от соотношения размеров зонда. В тонких и длинных вискерах тепловые колебания слишком велики. Для короткого и толстого зонда эти проблемы не так существенны, но как с помощью такого зонда изучать тонкие детали поверхности? Запись в журнале Биннинга, датированная 5 января 1979 г., даёт ответ на этот вопрос. Биннинг заметил, что благодаря экспоненциальному спаду туннельного тока между сферической поверхностью кончика зонда и плоской поверхностью образца ток концентрируется в области диаметром  $45 \text{ \AA}$ . Это наблюдение имело решающее значение для всей последующей работы.

Очень быстро—за два года—Биннинг и Рорер построили в Цюрихе первый прибор. 18 марта 1981 г. в 2 часа на самописце была получена запись, которая явно показала, что электроны туннелируют через вакуумный барьер. Несколькими неделями позже Биннинг и Рорер наблюдали резкие воспроизводимые ступеньки, повторявшие ступеньки между террасами на их золотом образце.

Всёобщее внимание привлёк отнюдь не туннельный ток, а резкие воспроизводимые ступеньки. Биннинг и Рорер могли легко ошибиться и пропустить эти ступеньки, которые было очень трудно зафиксировать. В первом приборе управление было не столь точным, и при попытке подвести иглу ближе к образцу она касалась поверхности; при этом сама поверхность повреждалась. Биннинг продолжал час за часом работать над системой управления. И вдруг во время двенадцатого часа работы без видимых причин на записях самописца появились ступеньки, соответствующие атомному размеру. Биннинг и его группа зафиксировали не только первые резкие атомные ступеньки, но также увидели слабые выпуклости атомного размера на поперечных плоскостях. Только гораздо позже они поняли, что произошло. Из-за различия в теплорасширении одни части прибора смещались относительно других; в частности, кончик иглы сместился с испорченного места на ровную неповрежденную часть поверхности золота. Небольшой выступ на толстом грубом зонде играл роль миниатюрного кончика с малым радиусом кривизны, как показано на **рис. 1**.



**Рис. 1. Острые вольфрамовые иглы. Естественные выступы уменьшают область туннельного тока, благодаря чему разрешение сканирующего туннельного микроскопа имеет порядок размера атомов. Выступы на кончике вольфрамовой иглы, а также экспоненциальная зависимость туннельного тока от расстояния между образцом и иглой уменьшают её эффективный диаметр до 10 Å. Пьезоэлектрический кристалл, обозначенный «Г», регулирует расстояние между иглой и изучаемой поверхностью. Пьезоэлементы х, у используются для сканирования по поверхности. Измерение туннельного тока позволяет построить растровое изображение, которое является картой выступов зарядовой плотности.**

Исследователи из Цюриха должны были поразиться, когда увидели кривые, демонстрирующие атомную структуру золотого образца. Их вычисления показали, что разрешение в поперечной плоскости имеет ожидаемую величину—45 Å. Чтобы разрешить отдельный атом, требовалось разрешение в 2 Å, которое и было впоследствии достигнуто. Разница между разрешением в 45 и 2 Å, приписываемая появлению небольшого выступа на кончике зонда, громадна. Сканирующий туннельный микроскоп обладает свойством, которое выделяет его из остальных приборов,—он позволяет разрешать детали структуры вблизи отдельного атома. Если бы разрешение осталось равным 45 Å, то сканирующий туннельный микроскоп был бы просто ещё одним сканирующим прибором для изучения поверхности и не вызвал бы такого интереса, который сейчас к нему проявляется. Малый выступ, благодаря которому уменьшается область туннельного тока и повышается разрешающая способность сканирующего прибора, естественным образом возникает на поверхностях определенных металлов. При использовании вольфрамовой иглы с таким выступом, а также экспоненциального спада туннельного тока при увеличении расстояния между зондом и образцом эффективный диаметр кончика

зонда уменьшается до 10 Å. Такие кончики естественно происхождения часто недолговечны, не они служат нам достаточно хорошо, пока разрабатываются более совершенные конструкции.

### Существующие методы

Любопытно обратиться к исследованиям, проведенным до 1981 г., в результате которых в науке и технике были сделаны открытия, используемые в вакуумном туннельном микроскопе, но не приведшие к созданию такого прибора. Возможность получения разрешения порядка размеров атомов не признавалась до тех пор, пока члены цюрихской группы не провели своих экспериментов. Чтобы достичь такого разрешения, им пришлось решить целый ряд ключевых проблем, которые отчасти уже были решены другими исследователями в лабораториях, разбросанных по всему миру. Исследователям надо было создать систему, регулирующую и подавляющую вибрацию, но такая система уже была создана ранее. Необходимо было совместить вакуумное туннелирование со сканированием, но сканирование уже использовалось в других лабораториях. В конце семидесятых годов Клейтон Тигью в Национальном бюро стандартов (НБС) США использовал сканирование в «игольном профилометре» для записи трехмерного изображения поверхности с поперечным разрешением 1000 Å. В этом приборе для измерения профиля поверхности основным элементом была игла, которая двигалась вдоль поверхности, касаясь её. Рассел Янг, тоже из НБС, использовал «сканирование в «топографе». Он сканировал поверхность с помощью электронов, испущенных в результате холодной эмиссии, и получал изображение с разрешением 4000 Å (см. *Physics Today*, November 1971. p. 42). Янг в своей статье обсуждал вакуумное туннелирование, но это не было основной целью его работы. Тигью, строго говоря, в своей диссертации описал наблюдение вакуумного туннелирования, но она осталась неопубликованной и незамеченной.

Члены цюрихской группы знали, что увидеть отдельные атомы возможно—это уже было сделано с помощью ионного микроскопа. Но они не представляли, насколько просто можно осуществить сверхтонкий зонд—и впервые открыли его. Первая поразительная удача на пути к получению разрешения атомного масштаба состояла в том, что туннельный ток оказался ограниченным областью, малой по сравнению с площадью проекции кончика вольфрамовой иглы. Удивительно, но другие учёные тоже пришли к пониманию этого факта. Например, Чарлз Спиндт из фирмы «СРИ Интернешнл» в своем исследовании эмиссии с малых молибденовых конусов сделал вывод: «Эмиссия с конца конуса происходит только из одного или нескольких атомов, расположенных на конце». Но он не использовал это явление для получения изображения.

*(Продолжение следует)*





# Компьютерная технология рисунка и её применение

А. В. Барский,  
д. т. н.,  
профессор каф. «Вычислительные системы и сети» МИИТ

## Окончание

### 3. Из истории вычислительной техники

В данном разделе представлены рисунки, использованные в 2006 году в международном студенческом конкурсе на лучший сайт по истории вычислительной техники. Конкурс проводился (и, по-видимому, будет проводиться ежегодно) в рамках структуры известной международной организации IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Куратор команды МАТИ выбрал тему из истории счёт – тех самых колёсиков в раме, на которых мы в детстве пытались кататься с горки.

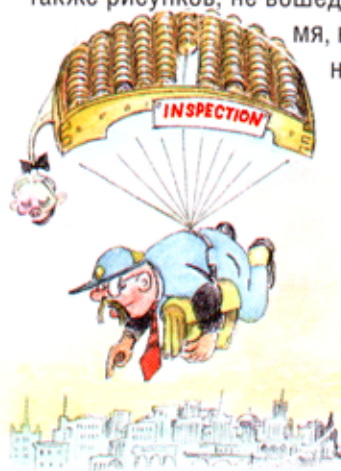
Сайт [www.schoty.ru](http://www.schoty.ru) занял первое место (в мире!) и завоевал приз, по общему признанию, благодаря странице юмора, сделавшей решение неординарным.

Такое «признание» подвигло автора на самостоятельную публикацию ряда рисунков с упомянутого сайта, а также рисунков, не вошедших в комплект. В то же время, несколько не лучших, по мнению автора, рисунков здесь не представлены.

Рисунки не только демонстрируют компьютерную технологию редактирования.

Они, скорее, демонстрируют те высокие требования, которые сегодня предъявляются к Интернет-изданиям по обеспечению полноты и доходчивости

образного восприятия, даже не безразвлекательных элементов. Об этом можно судить по тому, что данный сайт предлагается как образец для следующего аналогичного конкурса.



Несомненно и то, что каждый рисунок обозначает и может быть развит в некоторый сюжет, требующий подключения, как минимум, средств анимации.

Рисунок «Герберт Аврилакский», по содержанию более подходящий к данному разделу, дополняет исследования, объясняя появление Воланда в Москве.

### 4. Нейронные сети – аппарат искусственного интеллекта.

В данном разделе представлены рисунки – продукт непосредственной научной и преподавательской деятельности автора. Несмотря на юмористический характер, они исключительно серьёзны. Как говорилось ранее, их назначение – увести читателя с пути мистического мышления, объяснить с помощью шутки принцип работы того, к чему мы боимся прикоснуться, сделать это доступным воплощению.

Многие рисунки, являясь иллюстративным материалом, содержат в явном виде схемы и объяснение. Однако все будят фантазию созидания, добиваются впечатления о простоте воплощения тех принципов, на основе которых живое существо считается живым. И не следует задумываться глубже! Это опасно...

Выше говорилось, что мультимедийные курсы рассматриваемой дисциплины существуют. Однако они не устраивают автора недостаточным уровнем анимации и трёхмерной графики. Необходимо даже продумать сценарий наглядного освещения материала. Широкое поле деятельности здесь только открывается, и пусть приведённые изображения это подтвердят.





Таким образом, их следует рассматривать в качестве развиваемых сюжетов.

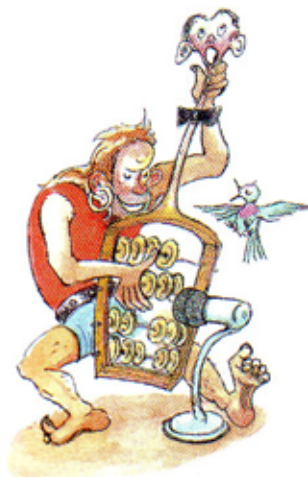
Рисунок «Бабушка» сопровождает рассказ о том, как с помощью нейронной сети, аналогичной мозгу, можно создать памятку пожилому человеку (систему принятия решений), определяющую его действия во все времена дня и года.

Ряд рисунков этой серии, так или иначе, служит

объекта только на преобладающий цвет в элементарном сегменте обзора. Например, красный цвет должен приводить к запуску комплекса программ обращения в ярость и к повторному обзору строки, чтобы усилить эту ярость при последующем раздражении.

« – Женщина в красной кофте! Отойдите от крокодила немедленно!...»

Жёлтый цвет может вызывать кокетство и эро-



проекту создания ПАРКА ФАНТАСМАГОРИЙ на основе уже научно и технологически доступного нейросетевого «живого» моделирования.

Представьте себе парк, подобный Диснейленду, в который вы заходите, самостоятельно купив билет или под руководством гида. И вдруг!

Выползают из-за трепещущих кустов и камней монстры – крокодилы, вздымаются головы ящеров и тянутся к вам. Лохматый неандерталец ладит каменное орудие, привязанное жилой к сучковатой палке. Подымается на свои курьи лапы избушка. Гигантской головой оживает скала, покрытая нежными незабудками. Деревья и кусты трясут ветками – радуясь или возмущаясь. Фонтаны воды преследуют вас... Ваше замешательство, паническое движение вызывают ответную реакцию: «население» парка смеётся, сердится, радуется, угрожает. Явно проявляются симпатии и антипатии...

До последующих усовершенствований, первоначально, должна быть предусмотрена реакция каждого

итическое возбуждение. Зелёный – умиротворение. Коричневый – ритмичный шаг и салютование головой. Голубой – благочинное умиление с возведёнными мочками и т. д.

Согласитесь, что это бизнес, достойный перспективных разработок ОАО НИКФИ.





# Телекино - преобразователи И

## ТЕХНОЛОГИИ СКАНИРОВАНИЯ



Д.Г. Чекалин,  
ОАО НИКФИ

Самым массовым и проверенным временем способом фиксации и хранения изображения является фотоплёнка или киноплёнка в случае подвижного или изменяющегося во времени изображения. На сегодняшний день киноплёнка является наиболее универсальным носителем изображения, современные киноплёнки обладают максимально возможной фотографической широтой, прекрасным цветовоспроизведением и разрешением, а кроме того, легко совместимы со всеми цифровыми форматами и имеют наилучшие (наиболее проверенные и предсказуемые) на настоящий момент характеристики по хранению. Несмотря на очевидный и неоспоримый прогресс цифровых технологий, их преимущества и удобство при обработке изображений, говорить о «смерти киноплёнки» пока ещё преждевременно, а учитывая отмеченный многими кинорежиссёрами, операторами и фотохудожниками особый художественный характер передачи изображения, свойственный только «плёнке», возможно и вовсе неуместно. Стремясь получить высочайшее качество изображения, режиссёры продолжают использовать при съёмках киноплёнку, осуществляя затем перевод изображения в цифровую форму для последующего монтажа. Однако для телевидения и современного кинопроизводства необходима электронная

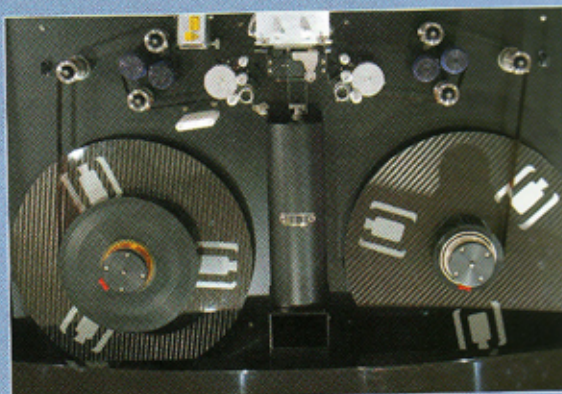
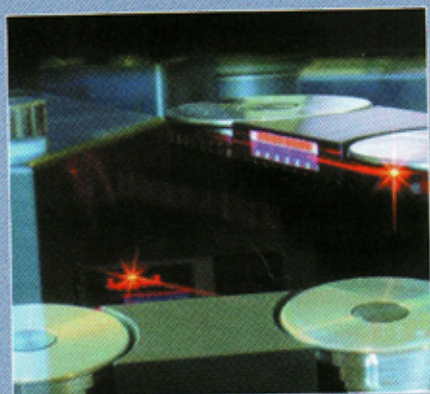
форма изображения, для перевода в которую изображения с киноплёнки создан целый класс разнообразных технических устройств.

На данный момент создано большое количество очень разнородных устройств, значительно различающихся по своим характеристикам, функциям и назначению, однако в англоязычной литературе все они обозначаются одним термином – **telecine**, образованным из слов телевидение (*television*) и кино (*cinema*). В последнее время появилась отдельная подгруппа устройств с названием **motion picture film scanner**. В отечественной технической литературе сейчас нет устоявшейся терминологии в этой области, и для обозначения одного и того же класса устройств используются несколько терминов: **телекинопередатчик, телекинопроектор, телекинодатчик, телекинопреобразователь, телекино, фильмсканер**. Далее в статье будет использоваться термин телекинопреобразователь, как наиболее функциональный.

Основными областями применения телекинопреобразователей являются: телевидение, фильмопроизводство и киноархивы. В каждой из этих областей предъявляются свои, иногда весьма специфические, требования к техническим параметрам и характеристикам аппаратуры, что и учитывается фирмами-производителями при разработке

и создании новых моделей. Дальше всё кажется просто: есть спрос, который определяет предложение; есть достаточное количество серьёзных фирм-производителей, постоянно разрабатывающих новые типы и модели телекинопреобразователей, и, наконец, есть большое разнообразие самих телекинопреобразователей... Но не всё так очевидно и безоблачно. Фирмы-производители, действительно, постоянно выпускают новые образцы, что определяется постоянным появлением всё новых и новых видеоформатов, для которых, соответственно, нужна новая техника, и появлением новых технологий, на базе которых возможны недоступные ранее технические решения. Не стоит забывать и о конкурентной борьбе на рынке сбыта. С другой стороны, производители ограничены существующим уровнем технологии, патентными ограничениями, тем что разработка должна в конечном счёте окупиться и, как это ни странно может показаться, отсутствием чётко сформулированных

что требования к телекинопреобразователям в этом случае значительно выше, чем к применяемым для ТВЧ. И уж совсем непросто обстоит вопрос с применением телекинопреобразователей для целей цифрового архивирования фильмовых материалов. Требования к таким устройствам должны быть значительно выше. Во-первых, лентопротяжный механизм должен обеспечивать работу без риска повреждения плёнки со старыми и ветхими фильмовыми материалами с широким диапазоном усадок, деформациями и часто с многочисленными склейками. Во-вторых, сканировать нужно не только поле кадра, а всю поверхность плёнки, включая фонограмму и перфорацию. В-третьих, сканирование должно проводиться с высоким разрешением (вплоть до фиксации структуры зерна плёнки). В-четвёртых, в результате сканирования мы должны получить дубликативно точную цифровую копию, полностью совпадающую с оригиналом по градационным и цветодели-



требований потребителя к техническим параметрам разрабатываемых устройств. В телевидении точно известны характеристики, которыми должен обладать видеосигнал на выходе из телекинопреобразователя, все форматы стандартизованы, при появлении новых телевизионных форматов (например ТВЧ) разработчик точно знает, что от него требуется. Несколько сложнее дело обстоит в кинопроизводстве, что-то стандартизовано, что-то уже устоялось и используется де-факто, и в любом случае требования к характеристикам применяемого электронного изображения определяются в первую очередь не телекинопреобразователем, а всем комплексом по обработке и монтажу видеоматериала. Отдельного внимания заслуживает цифровой кинематограф, в котором проблема отсутствия единого стандарта уже перешла в стадию хронической — стандарта нет уже много лет, не определены окончательно даже формат и разрешение кадра, хотя уже понятно,

каким должны быть технические характеристики. Возможно, отсутствие точно определённых, продуманных, научно обоснованных и чётко сформулированных характеристик и требований к архивному телекинопреобразователю и сдерживает его появление, несмотря на всё возрастающую потребность в таком специализированном устройстве, а плёнки тем временем продолжают стареть и разрушаться. Изначально телекинопреобразователи разрабатывались для нужд телевидения. Первые видеоманитофоны появились только в 1950-х годах (первый видеоманитофон выпущен компанией Амрех А. М. Понятова в 1956 году), и до их создания телевидение можно было осуществлять только в режиме «прямого эфира», транслируя изображение с видеокамер или с заранее подготовленных и смонтированных киноплёнок. Поэтому для хранения, монтажа и подготовки материалов для телеэфира использовались традиционные плёночные кинотехнологии, а для передачи изображения с кино-

плёнки по телевидению и были необходимы телекинопередатчики (или телекинопреобразователи), первые модели которых разрабатывались уже в начале 1930-х. Киноплёночные технологии продолжали использоваться на телевидении и после появления видеоманитонов и распространения технологии видеозаписи, и на этот раз уже не по причине безальтернативности, а из-за значительно более высокого качества. До момента появления на телевидении цифровых технологий каждая видеоперезапись или видеомонтаж безвозвратно ухудшали качество изображения, поэтому съёмку и монтаж старались проводить с использованием киноплёнки (16 или 35-мм), максимально сохраняя качество изображения. Телекинопреобразователь использовали только на последней стадии при переводе готового материала в видеосигнал, при этом телекинопреобразователь осуществлял не только перевод киноизображения в видеосигнал, но и выполнял функцию фильтра и осуществлял компрессию высококачественного оптического киноизображения по пространственному разрешению, контрастности и глубине цвета до величин, применяемых в телевизионном сигнале. Классические телекинопреобразователи представляют собой устройства для перевода киноизображения в видеоформаты (в том числе цифровые), имеют видеовыход и возможность цветокоррекции, сканирование осуществляется в реальном времени.

В современном цифровом фильмопроизводстве (Digital Intermediate) применяются компьютерные технологии и работа осуществляется не с компрессированным видеосигналом (как в телевидении), а с цифровым изображением в виде компьютерных файлов. Поэтому для цифрового кинематографа, фильмопроизводства и создания цифровых архивов в последнее время разрабатываются специальные устройства—фильмсканеры (motion picture film scanner), которые имеют высокое разрешение 2K (2048x1536 пикселей), 4K(4096x3072 пикселей) и выше, максимально возможный динамический диапазон и минимальное количество настроек.

Фильмсканеры не имеют видеовыхода и осуществляют сканирование высокого разрешения с выводом в виде компьютерных файлов в форматах DPX и Kodak Cineon с логарифмическим квантованием 10 бит/цвет или линейным квантованием 12-16 бит/цвет. Платой за качество является скорость работы, при высоком разрешении сканирование одного кадра может занимать более 20 секунд. Создаются также и гибридные телекинопреобразователи с возможностью вывода изображения, как в виде видеосигнала, так и в компьютерных файлах.

Телекинопреобразователь—это устройство для перевода изображений, зафиксированных на киноплёнке (кинофильме), в электронную форму, состоящее из трёх основных функциональных блоков: лентопротяжного механизма, оптико-электронного считывающего устройства и электронного блока обработки и преобразования изображения. Основой телекинопреобразователя является оптико-электронное считывающее устройство, сенсоры которого собственно и переводят оптическое изображение в электронный сигнал и определяют его качество.

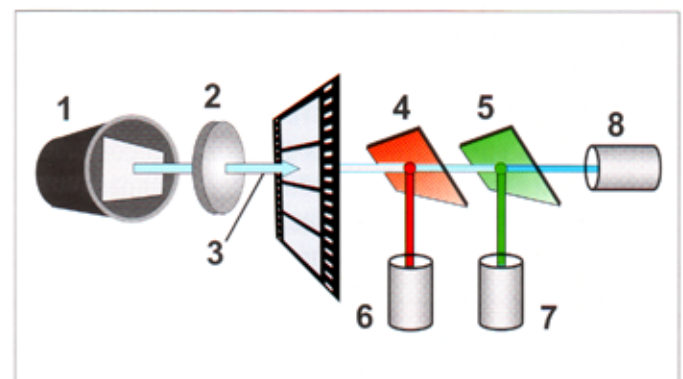


Рис. 2. Схема сканера с бегущим лучом (Flying Spot). 1 — электронно-лучевая трубка; 2 — объектив; 3 — световой луч; 4, 5 — дихроичные полупрозрачные зеркала; 6, 7, 8 — фотоэлектронные умножители для красной, зелёной и синей составляющих цвета

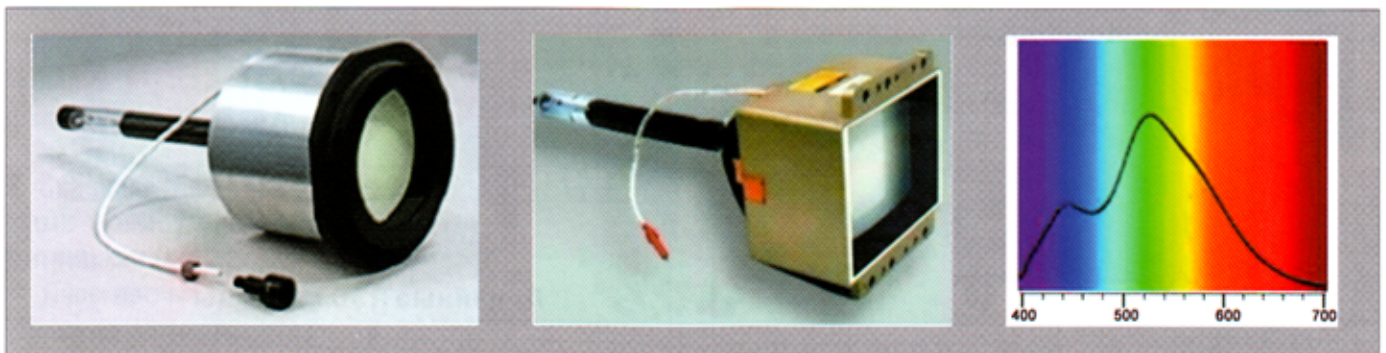


Рис. 1. Электронно-лучевые трубки производства Thomas Electronics для телекинопреобразователей URSA и Millennium Machine

## Технологии сканирования

В настоящее время применяются три принципиально различные технологии: сканеры с бегущим лучом (Flying Spot) на базе электронно-лучевой трубки (CRT); сканеры на базе линейных однострочных (line array) ПЗС (CCD) матриц; сканеры на базе плоскостных прямоугольных матриц (area array) с применением ПЗС (CCD) или активных КМОП (CMOS) матриц, подобных тем, что применяются в цифровых видео- и фотокамерах. В качестве источника света в телекинопреобразователях применяются электронно-лучевые трубки, галогеновые и ксеноновые лампы или светодиоды.

### 1. Сканеры с бегущим лучом (Flying Spot)

Эта технология появилась первой, ещё в 1930-х годах. Вначале для развёртки изображения применяли оптико-механическую систему, а затем электронно-лучевые трубки (рис. 1).

Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) создает немодулированный световой поток, образуя на своем экране световую точку. Эта световая точка фокусируется в плоскости киноплёнки на кадре. Изображение на кинокадре развёртывается (сканируется) световой точкой, бегущей по экрану ЭЛТ. Во время развёртки световое пятно последовательно строка за строкой просвечивает весь кинокадр, изменяющий в соответствии с плотностью изображения яркость светового потока. Далее модулированный световой поток собирается и направляется конденсорной линзой в цветоделительный блок, где с помощью дихроичных зеркал происходит разделение на

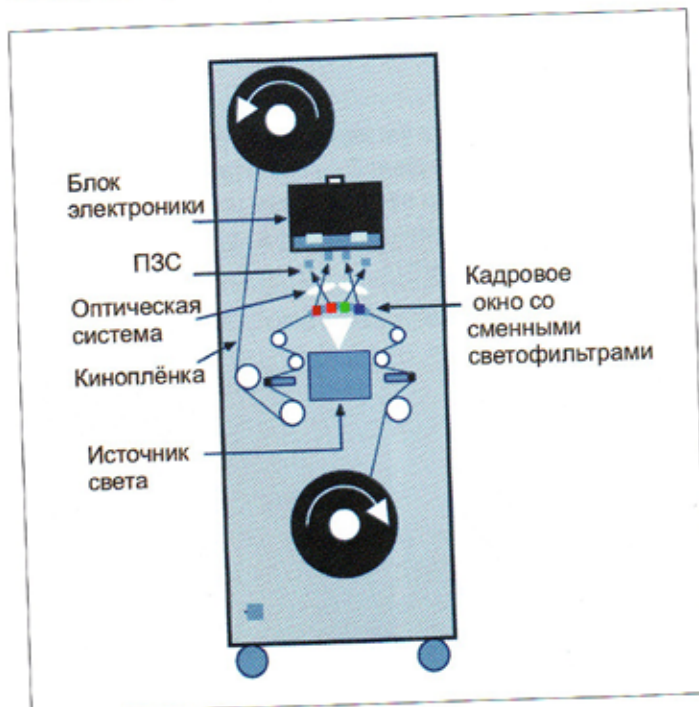


Рис. 3. Схема сканера на базе линейных однострочных (line array) ПЗС матриц

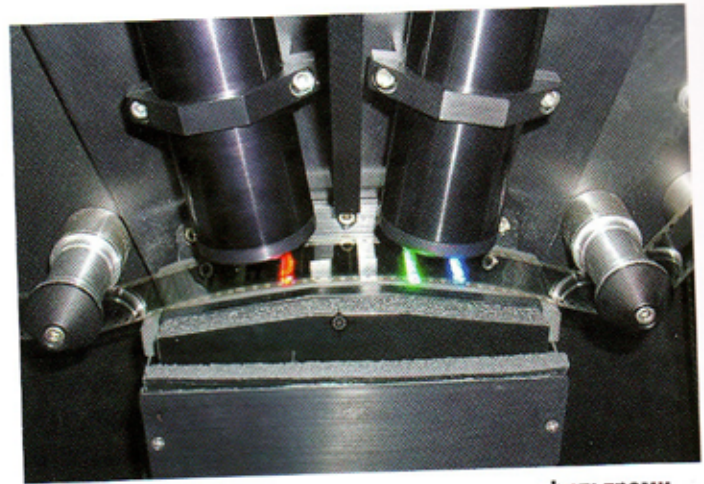


Рис. 4. Фильмовый канал со сменными светофильтрами (Kinoton FilmReader)

3 составляющих луча — красный, зелёный и синий, которые с помощью трёх (по одному на каждый цвет) фотоэлектронных датчиков (фотодиодов, фототранзисторов или фотозлектронных умножителей) преобразуются в видеосигналы, амплитуды которых определяются яркостью и цветностью передаваемого в данный момент элемента изображения (рис. 2).

Схема с бегущим лучом обладает определёнными достоинствами: в системе применяются очень простые сенсоры; легко осуществляется подстройка под плёнку любого формата от 8 до 70 мм; система развёртки поддерживает все стандартные эффекты, используемые в телекинопреобразователях (масштабирование, панорамирование, вращение и др.). Данная технология позволяет управлять частотой сканирования, а частота кадрового сканирования может быть подстроена под любую скорость движения плёнки, даже при её остановке в режиме стоп-кадра. На настоящий момент используются с разрешением до 4К.

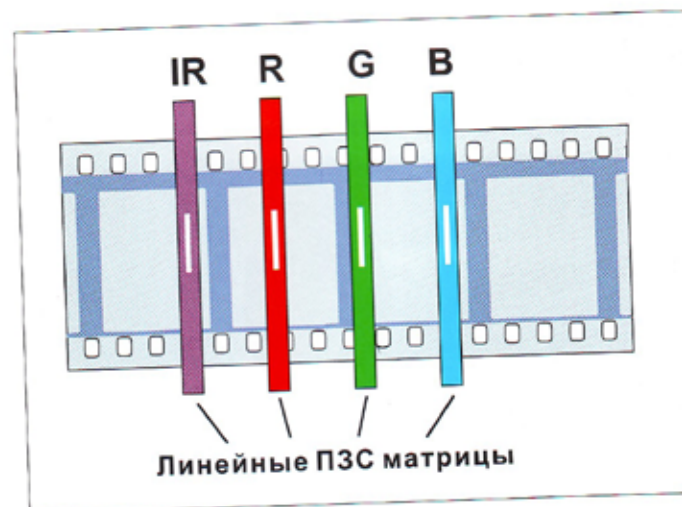


Рис. 5. Схема положения матриц относительно кинокадров

## 2. Сканеры на базе линейных однострочных (line array) ПЗС (CCD) матриц

В ряде моделей телекинопреобразователей используются линейные однострочные ПЗС матрицы (рис. 3). В сканере последовательно устанавливаются три линейки однострочных матриц для красного, зелёного и синего света. В фильмовом канале плёнка соответственно последовательно освещается цветным светом, прошедшим через цветные фильтры или с помощью цветных светодиодов (рис. 4). Освещённые участки плёнки проецируются оптической системой на одиночные линейки ПЗС матриц (рис. 5). В дополнение к трём матрицам видимого диапазона в некоторых моделях дополнительно устанавливаются четвёртую линейку, работающую на частоте, близкой к инфракрасному свету. Это даёт возможность формировать дополнительный канал изображения (альфа-канал), который можно использовать для выявления царапин и частиц грязи. В дальнейшем на основе этой информации загрязненные кадры можно исправить в автоматизированном или ручном режиме. Для создания изображения плёнка должна непрерывно протягиваться, пересекая одиночные ПЗС линейки, поэтому лентопротяжный механизм должен обеспечивать непрерывную транспортировку плёнки с постоянной скоростью и с очень высокой стабильностью. В этом заключается один из главных недостатков: при такой системе невозможно просканировать кадр в режиме паузы, поэтому все перемещения, кадрирование, цветокоррекция и т. д. должны производиться в цифровой кадровой памяти, а не на выходе установки. Но в этом есть и свои плюсы: отсутствует прерывистое движение киноплёнки и лентопротяжный механизм осуществляет непрерывное движение плёнки, а электродвигатели подающего и приёмного узлов гарантируют постоянство натяжения плёнки во всех режимах работы, что выгодно отличает данное технологическое решение в отношении износоустойчивости и сохранности плёночных материалов.

## 3. Сканеры с плоскостными прямоугольными матрицами (area array)

Плоскостные прямоугольные матрицы (area array) имеют большое распространение в съёмочной технике, поэтому

всё время ведутся интенсивные разработки, а технологии, связанные с их изготовлением и применением, постоянно развиваются и совершенствуются. В некоторых моделях телекинопреобразователей за основу брались уже готовые видеокамеры, для других использовались отдельные типовые узлы и блоки, в некоторых случаях проводятся специальные индивидуальные разработки.

Матрица (сенсор) состоит из массива светочувствительных ячеек. При попадании света на матрицу каждая ячейка вырабатывает электрический сигнал, пропорциональный интенсивности попадающего на неё светового потока. Несмотря на всё разнообразие технологий, в большинстве случаев используются матрицы двух основных типов: КМОП (CMOS, Complimentary Metal-Oxide-Semiconductor) и приборы с зарядовой связью – ПЗС (CCD, Charge Coupled Device). Принцип действия и ПЗС и КМОП матриц (сенсоров) одинаков: под воздействием света в полупроводниковых элементах рождаются носители заряда, которые впоследствии преобразуются в электрический сигнал. Различие между этими сенсорами заключается в способе накопления и передачи заряда, а также в технологии преобразования его в аналоговый сигнал. Сенсоры различаются по способу, которым информация собирается со светочувствительной матрицы. В ПЗС сенсорах информация считывается последовательно из каждой ячейки, ряд за рядом. Поэтому сделать следующий снимок можно лишь тогда, когда предыдущий уже полностью сформирован и считан. КМОП матрицы устроены иначе: информация из каждой ячейки считывается индивидуально.

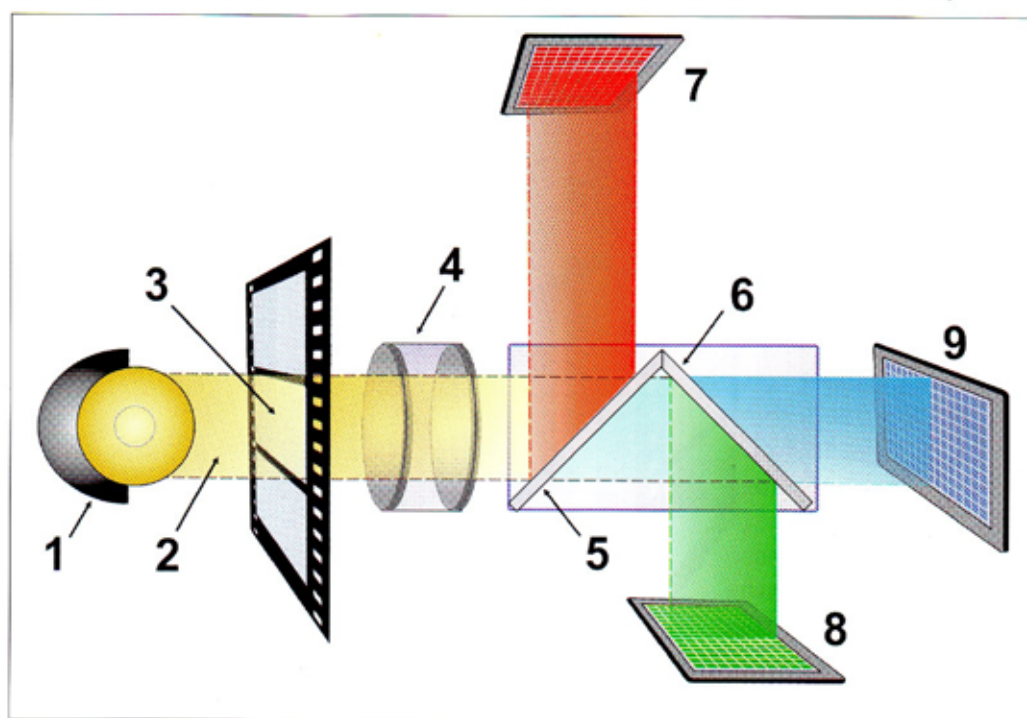


Рис. 6. Схема сканера на базе прямоугольных матриц (area array) по системе трёх матриц. 1 — источник света; 2 — световой луч; 3 — кинокадр; 4 — объектив; 5, 6 — дихроичные полупрозрачные цветные зеркала или призма; 7, 8, 9 — матрицы

Для каждой ячейки в матрице заданы координаты, и, используя их, можно получить индивидуальный доступ к каждой отдельной ячейке. Это позволяет использовать КМОП матрицу не только непосредственно для съёмки, но и для экспонетрии. Ячейки в матрице сами по себе не способны различать цвета: разница длин волн падающих на них фотонов воспринимается как разница энергий. Вариации энергий фотонов и их числа за время экспозиции приводят к изменению всего лишь одной величины — заряда в ячейке для ПЗС или напряжения для КМОП. Поэтому на выходе матрицы мы имеем монохромный сигнал изображения (градации серого), не содержащий никакой информации о цвете. Для получения цветного изображения с помощью черно-белых сенсоров необходимо применение специальных методов и дополнительных приспособлений.

В настоящее время существует несколько подходов по применению прямоугольных матриц (area array) в телекинопреобразователях, отличающихся способом цветного разделения изображения:

#### а) Система трёх матриц

Наиболее отработанной и давно применяемой (например, в профессиональных видеокамерах) методикой получения цветного изображения с помощью монохромных сенсоров является система с расщеплением цветного светового луча после объектива системой дихроичных зеркал или дихроичных призм. Зеркала (или призмы) раскладывают световой луч на три составляющие (красную, зелёную и синюю), которые затем направляются на три отдельные матрицы, каждый цвет на свою матрицу (рис. 6). Метод трёх матриц обеспечивает отличную разрешающую способность как

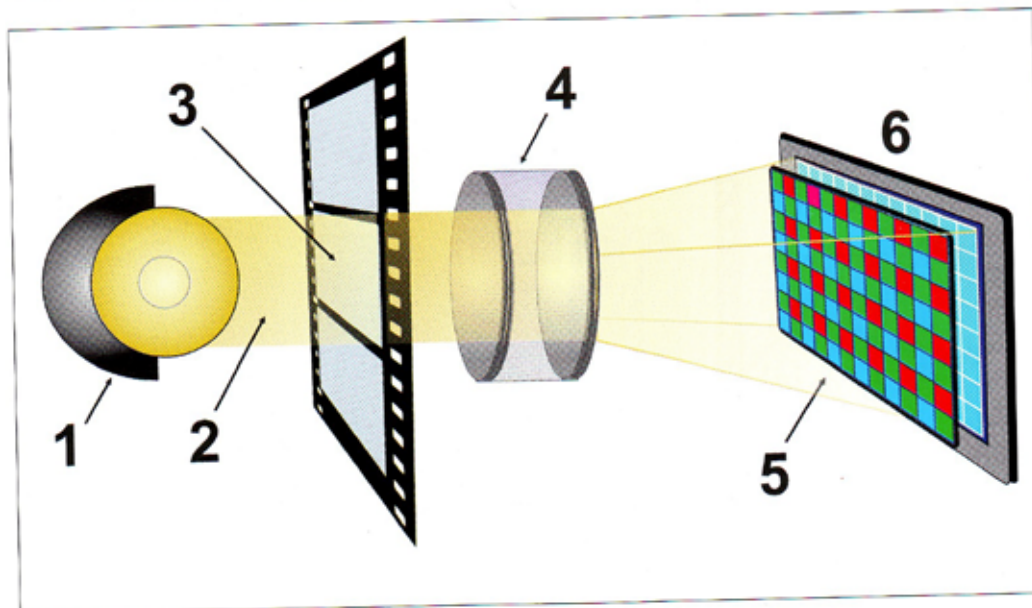


Рис. 7. Схема сканера на базе прямоугольной матрицы (area array) по системе с массивом цветных фильтров (color filter arrays, CFA). 1 — источник света; 2 — световой луч; 3 — кинокадр; 4 — объектив; 5 — массив цветных фильтров; 6 — матрица.

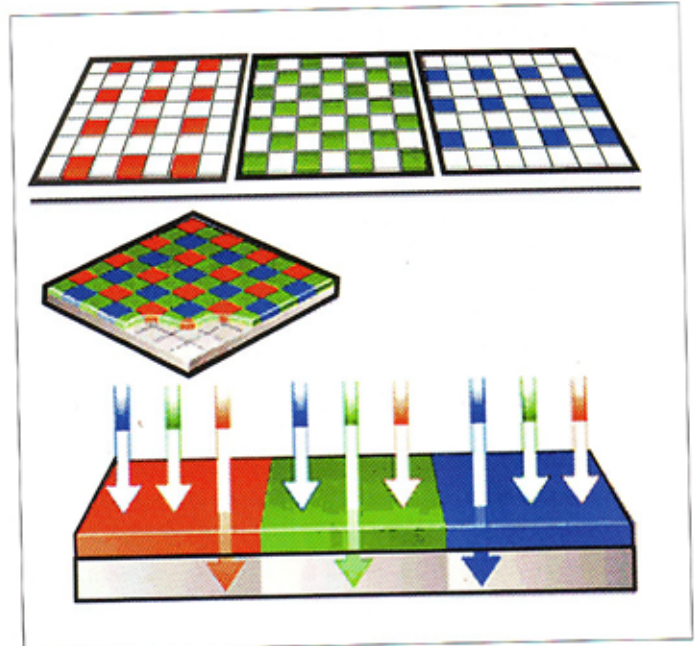


Рис. 8. Схема массива цветных фильтров Байера и разложение цветов RGB по ячейкам матрицы.

цветовую, так и пространственную, высокую светочувствительность. Достоинством является хорошая передача цветовых переходов и полное отсутствие цветового муара. Время получения кадра, пожалуй, самое лучшее из всех подходов, т. к. нет необходимости производить цветовую интерполяцию. Появляется возможность создания сенсоров, оптимизированных каждый под свой цветовой диапазон, например, изменяя спектральную чувствительность сенсоров введением специальных примесных добавок в кремний. Баланс белого на итоговом изображении сводится к регулировке усиления и уровней чёрного каждого из трёх сенсоров. К недостаткам метода следует отнести: необходимость сложной специальной оптики (из-за наличия перед сенсорами довольно крупного блока призм); сложную юстировку всей системы; наличие проблемы сведения цветов (особенно при высоком разрешении); высокую стоимость по причине необходимости тройного комплекта матриц с электронной обвязкой. Однако технология трёх матриц отлично отработана (включая приспособления для расщепления



света), а по качеству и скорости этот подход пока один из лучших.

### б) Матрицы с массивами цветных фильтров (color filter arrays, CFA)

Для возможности фиксации цветного изображения одной матрицей был изобретён метод с применением массива цветных фильтров (color filter arrays, CFA). Суть метода заключается в размещении над каждым пикселем матрицы своего персонального цветного фильтра. Чтобы одна матрица могла различать и фиксировать различные цвета, на кремний с помощью процесса фотолитографии накладывается массив цветных фильтров. В тех сенсорах, где используются микролинзы, фильтры помещаются между линзами и фотоприемником. Так как по своей природе фотодетекторы матрицы чувствительны во всем видимом диапазоне спектра, то над каждым пикселем матрицы размещается цветной светофильтр одного из трёх основных цветов — красного (R), зелёного (G) и синего (B). Фотоны, прежде чем попасть на пиксель, сначала проходят через фильтр, который пропускает только волны своего цвета. Свет другой длины будет просто поглощаться фильтром. В большинстве сенсоров каждая ячейка покрыта красным, синим или зелёным фильтром (рис. 7). Фильтры собраны в группы по четыре, причем на два зелёных приходится по одному красному и одному синему (такой тип организации фильтров называется «шаблоном Байера» и его можно обозначить как сенсор RGBG), хотя существуют и другие варианты применяемых цветов и компоновки. Зелёных ячеек в два раза больше, чем ячеек других цветов. Это связано с особенностями человеческого зрения, наиболее чувствительного именно к зелёной области спектра. Потеря данных в этой области была бы наиболее заметна. Каждый фильтр пропускает на светочувстви-

тельную ячейку преимущественно свою составляющую света. Теперь каждая ячейка содержит информацию не только о яркости, но и о цвете отдельного элемента изображения (рис. 8). Остаётся только преобразовать электрический сигнал в цифровой и обработать его.

Однако не стоит забывать, что каждая ячейка матрицы воспринимает только 1/3 часть спектра приходящего света, а другие 2/3 рассчитываются на основе данных соседних ячеек. Чтобы создать цветное изображение, с помощью сложного программного обеспечения анализируются все три массива полученной цветовой информации, сопоставляются значения соседних ячеек и по сложному алгоритму рассчитывается итоговый цвет каждой ячейки (пикселя) — этот процесс называется цветовой интерполяцией.

Интерполяция является важнейшим этапом получения цветного изображения, поскольку точность и степень сложности специальных математических методов этого процесса оказывает серьёзное влияние на итоговое качество изображения. Иными словами, в борьбе за повышение качества изображения, улучшение процесса интерполяции играет не менее важную роль, чем улучшение качества светочувствительных сенсоров. Выигрыш по скорости и стоимости метода с массивом цветных фильтров компенсируется проигрышем по пространственному и цветовому разрешению. Практически группа из четырёх пикселей RGBG работает как один полноценный пиксель и приблизительно формирует полный набор цветовых RGB характеристик для одной усредненной предметной точки, а данные каждого пикселя итогового изображения частично «размазываются» по нескольким ячейкам.

### в) Трёхкратное экспонирование в цветном свете

Альтернативой фильтру Байера является метод повторного экспонирования в цветном свете. Для случая неподвижного изображения (остановка кадра) можно использовать трёхкратное экспонирование матрицы без использования массива цветных фильтров, производя последовательное освещение кинокадра красным, зелёным и синим светом. В качестве осветителя можно применять источник белого света с устройством смены светофильтров или цветные светодиоды (рис. 9). Минусом данного

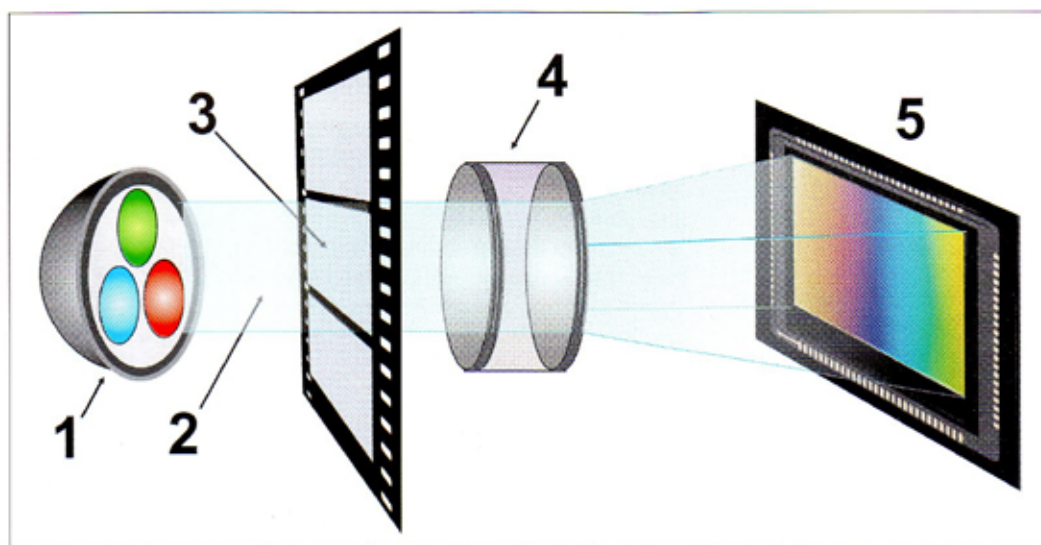


Рис. 9. Схема сканера на базе прямоугольной матрицы (area array) по системе с трёхкратным экспонированием в цветном свете. 1 — источник цветного света; 2 — световой луч; 3 — кинокадр; 4 — объектив; 5 — матрица

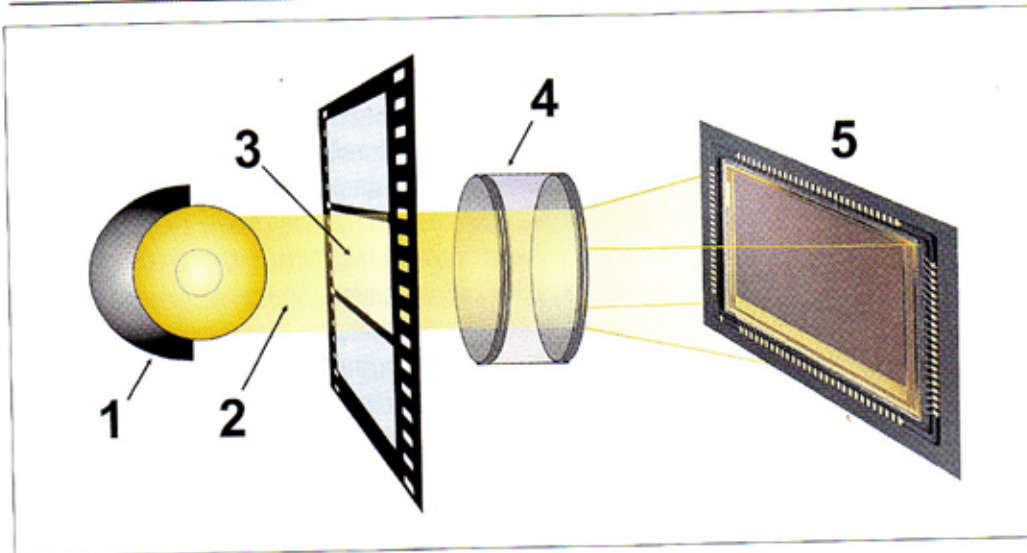


Рис. 10. Схема сканера на базе многослойной (трехслойной) матрицы. 1 — источник света; 2 — световой луч; 3 — кинокадр; 4 — объектив; 5 — многослойная матрица.

метода является необходимость тратить в три раза больше времени, однако несомненным его достоинством является необходимость только одной матрицы и отсутствие раstra Байера и всех проблем, связанных с его применением.

#### г) Многослойные (трехслойные) сенсоры

Технологии непрерывно развиваются, и на смену простым однослойным сенсорам приходят трехслойные. Американская компания Foveon создала новый тип сенсора — Foveon X3, который работает аналогично фотопленке, поскольку также состоит из трех слоев, каждый из которых чувствителен к своему цвету. В этих сенсорах каждая светочувствительная ячейка имеет сложную трехуровневую конструкцию и состоит из трех слоев, улавливая синий, красный и зеленый цвета одновременно. Каждый из трех слоев воспринимает свой цвет, а вместе они образуют полноцветную ячейку. Эта технология не требует применения специаль-

схема с такой многослойной матрицей будет наиболее простой из всех рассмотренных (рис. 10).

В целом рассмотренная ситуация напоминает процессы, происходившие в начале прошлого века при создании цветного пленочного кинематографа. Тогда также предлагались четыре способа воспроизведения цвета на киноэкране: последовательное проецирование на киноэкран трех цветоделенных кадров через сменяющиеся цветные (красный, зеленый, синий) светофильтры; одновременная проекция трех цветоделенных кадров через три цветных фильтра; автохромный способ с применением мозаичных цветных растров и, наконец, многослойная цветная пленка. Аналогия здесь, как можно видеть, почти полная, тогда победила технология цветной многослойной пленки, а процесс окончательного выбора технологии занял более сорока лет.

*(Продолжение следует)*

#### Создана виртуальная модель Древнего Рима

Компьютерная модель Древнего Рима разработана американскими, итальянскими, немецкими и английскими учеными и называется Rome Reborn (Возрожденный Рим). Модель станет пособием для людей, изучающих историю Древнего Рима, и будет установлена в виртуальный мир Second Life. Стоимость проекта — 2 млн. долларов.

Компьютерная модель выполнена в виде спутниковой карты и представляет Рим 320 года н.э. (времена правления императора Константина, когда христианская религия стала в Древнем Риме государственной). Большую информационную поддержку создателям проекта оказал Ватикан — ученые пользовались архивами его знаменитой библиотеки.

В модели «воссоздано» более 7 тысяч зданий и сооружений. Основой «Возрожденного Рима» стал гигантский макет *Plastico di Roma*

*Antica* из Музея римской цивилизации размером 16x17 метров. Макет создан в 1936 году по заказу Муссолини, уточнения вносились в него до 1974 года.

Для создания модели использовались данные лазерного сканирования современного Рима, древние карты и каталоги зданий с описанием квартир, домов, гостиниц, складов, пекарен и публичных домов, учитывались рекомендации археологов, которые подсказали, как выглядели здания и статуи в те времена.

Виртуальный двойник Колизея «вмещает» 50 тысяч человек. «Мы можем «провести» людей по подвалам Колизея 80 года н.э. и показать подъемники, на которых поднимали животных из подземных клеток на арену», — сказал руководитель проекта Бернард Фишер (Университет Вирджиния). По его словам, главная цель компьютерной модели — воссоздание изменений, которым подвергался Рим с бронзового века до V века н.э., когда город был разрушен вестготами.

[www.ve-group.ru](http://www.ve-group.ru)



# Оценка Качества Изображения в Цифровом Кино

ЖУРНАЛ SMPTE,  
ФЕВРАЛЬ-МАРТ, 2007. СТР. 61-71

Перевод  
А.С. Блохина,  
Р.Б. Ефименкова,  
ОАО НИКФИ

ПРОДОЛЖЕНИЕ



## Выбор сцены

Испытательные сцены были выбраны так, чтобы охватить широкий диапазон изображений и оригинальных источников, которые встречаются на практике. Первичные источники включают оцифрованные 35 мм и 65 мм негативы кинофильма, компьютерно генерируемые изображения и изображения, полученные цифровой камерой Arriflex D-20. Изображение включало сцены, снятые:

1. при наружном дневном освещении,
2. при наружном полном солнечном освещении,
3. при внутреннем искусственном освещении,
4. при внутреннем смешанном освещении с большим контрастом,
5. при наружном дневном освещении в соединении со сложным содержанием изображения.

	Origination source			
	Film 65 mm	Film 35 mm	D-Capture	CGI
Outdoor daylight				
Outdoor daylight, text composite				
Indoor mixed lighting, large contrast range				
Virtual lighting				

Рис. 4. Пять примеров тестовых изображений

Сцен с большим количеством действий актёра или движений камеры избегали, потому что из многих предыдущих тестов ясно, что эти типы сцен приведут к уменьшению чувствительности в качественном испы-

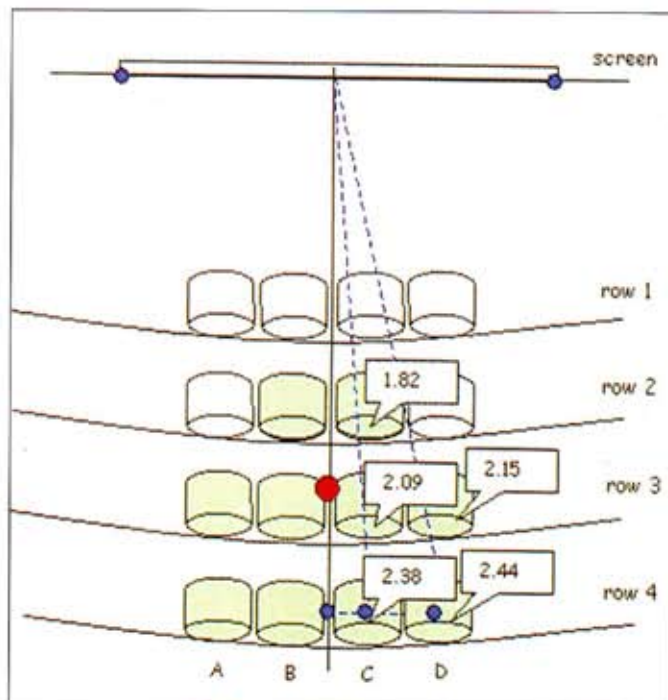


Рис. 5. Расположение зрительских мест по отношению к оси экрана. Красная точка – расстояние, равное 2-м высотам экрана.



Рис. 6. Пульт управления для просмотра различных сюжетов

тании. Для испытания были отобраны сцены, которые показаны на рис. 4.

### Описания Сцены

- Сцена с пожарной машиной: пожарный, сидящий перед красной пожарной машиной, играющий с собаками на фоне красных поверхностей (дневной свет, 65 мм негатив);
- Сцена с велосипедистом: велосипедист на дороге «кастрюлей» камеры (дневной свет, 35 мм негатив);
- Сцена рекламы: на синем фоне комбинированные буквы рекламы (дневной свет, 35 мм позитив);
- Фабричная сцена: стеклотрубы на работе – высокий контраст от света из окон, низкий контраст в центре кадра (камера Agri D-20);
- Сцена Планеты сокровищ: компьютерная графика.

### Выбор экспертов

Эксперты были отобраны из двух основных объединений: служащие Kodak в Париже и члены World Screen – партнер компании. В некоторых тестах также участвовали опытные эксперты от ISO-WG1 JPEG группы. Каждый эксперт-наблюдатель был обязан заполнить краткую анкету и подвергнуться ряду коротких тестов, чтобы определить, имеется ли у него какое-либо ухудшение визуального восприятия, которое препятствовало бы получению результатов. Все желающие эксперты могли участвовать в оценках качества изображения, но результаты экспертов с ухудшенной остротой зрения или с искаженным цветным видением оценивались отдельно.

Эксперты были проверены на остроту зрения по методике, описанной в [3], что соответствует номинальной остроте зрения VA 1.0, или 20/20 по методике Snellen. Эксперты были проверены на нормальное цветное видение тестом Ishihara на дальтонизм, используя бинокулярный тест с окружающим дневным светом или эквивалентным освещением. Был использован цветной тест видения на главный тест. Этот цветной тест, предназначенный для определения нарушений восприятия красно – зеленого цветов, содержит 14 страниц текста в виде книги с инструкциями. Уровень в различие цветов определяется в 3-х категориях: нормальная, частичная недостаточность и полная слепота. Перед тем, как проводить испытания, эксперты помещались на 5 минут в темную комнату с засветкой серым тоном 20% площади экрана для адаптации глаза. Чтобы избежать утомления и в соответствии с рекомендациями [3], средняя продолжительность проведенных экспериментов была ограничена 45-ю минутами, включая инструктаж.

### Выбор расстояния до экрана и размещение экспертов в зале

Расстояние эксперта играет большую роль в качественных оценках. Номинальное расстояние наблюдения было установлено в 2,0 высоты экрана. Было бы жела-

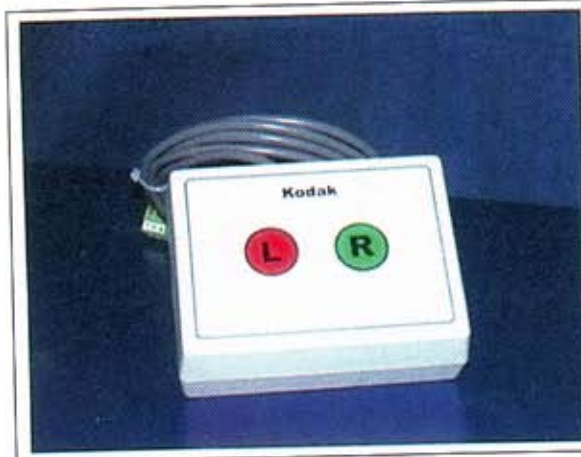


Рис. 7а. Двухкнопочный пульт для голосования экспертов

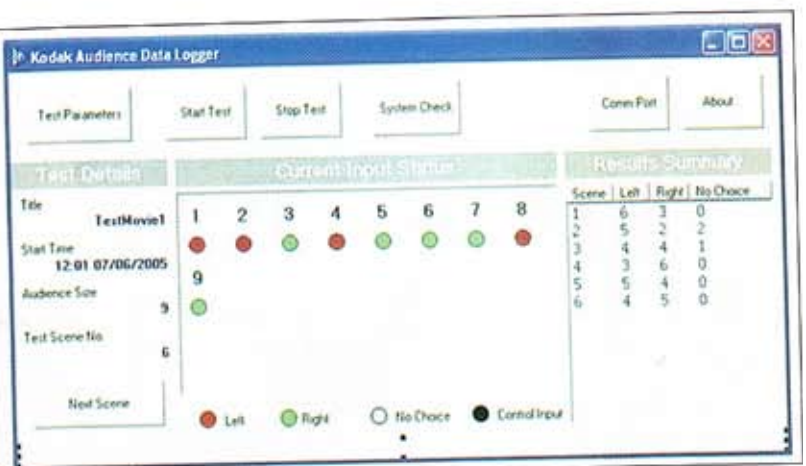


Рис. 7б. Интерфейс

тельно иметь более одного эксперта одновременно, но невозможно одновременно всем экспертам быть точно на расстоянии двух высот экрана. Несоответствия в расстоянии рассмотрения приводили к неточности результатов JND, и это надо было оценить при одновременной работе нескольких экспертов в каждом сеансе наблюдений. Для изображений с высоким разрешением, используемых в цифровом кино с учётом предыдущего опыта работы с аналогичными экранными изображениями, было установлено, что в диапазоне изменения расстояния  $2H (+0.4/-0.2)$  высоты экрана неточность определения JND составит  $\pm 0.5$ . Эти расстояния для просмотра, пересчитанные к десяти местам в кинотеатре, показаны на рис. 5. Особо отмечены лучшие места в кинозале.

### Многokrатное наблюдение изображений и выбор данных

Описанные сравнительные испытания являются достаточно утомительными для эксперта. Одновременное представление испытательных образцов и регистрация ответов предполагают, что эксперты смотрят на экран и оценивают результаты, сравнивая изображения. Процедура испытаний должна минимизировать усталость эксперта, которая является важным фактором, позволяющим избежать дополнительных сеансов. Для ускорения процессов оценки был создан специальный интерфейс MQR для каждого эксперта, представляющий собой диалоговый пульт с автоматизированной заготовкой вариантов ответа. Этот пульт показан на рис. 6. Беспроводной интерфейс к серверу D-cinema позволяет эксперту перемещать последовательно эталонные изображения с разным качеством

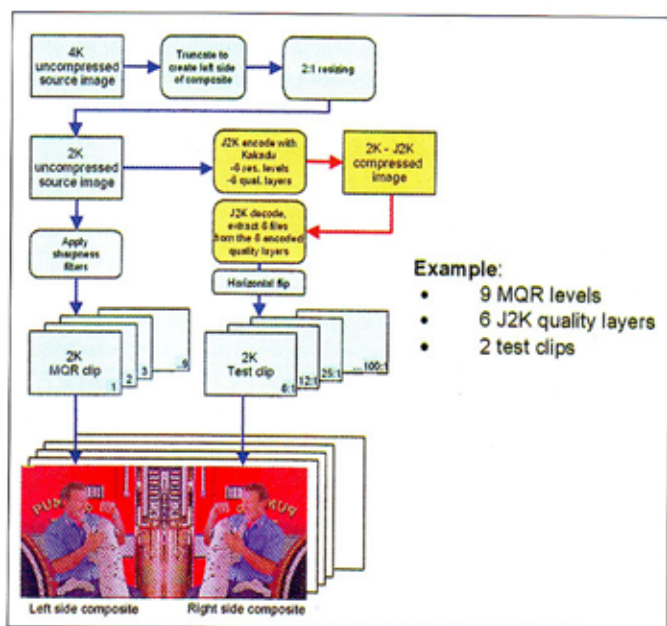


Рис. 8. Функциональная схема эксперимента по определению качества изображения

до тех пор, пока не достигнуто полное соответствие эталонного и испытательного изображений. Эксперт может использовать главный ряд кнопок, чтобы быстро переместиться к наилучшему эталонному изображению. Для увеличения визуальной чувствительности аппаратные средства включают функции типа паузы, изменения масштаба и промывки изображения в лотке, что отсутствует при обычном перематывании киноплёнки. Во всех тестах MQR один эксперт с полным диалоговым контролем воспроизведения изображения был помещён в том месте, которое находилось на самом близком расстоянии в две высоты экрана («сладкое пятно»). Эксперт не был ограничен во времени для принятия решения. В дополнение к оборудованию, показанному на рис.6, были разработаны инструменты для проведения принудительно выбранных парных сравнительных тестов для подтверждения калибровки MQR. Поскольку изменяется только фокусировка изображения, что даёт возможность определить качественные различия, то проводились испытания, которые выявляли разницу фокусировки. Чтобы калибровать вектор MQR, надо было использовать более одного эксперта для проведения парных сравнительных испытаний в одно и то же время. Места для экспертов были выбраны таким образом, чтобы при рассмотрении свести к минимуму ошибки оценок качества изображений. Поскольку одновременное сравнение требует только решения типа «да – нет», использовались клавиатуры с двумя кнопками, как это показано на рис. 7 (а). Шестнадцать переносных клавиатур с двумя кнопками были беспроводно связаны с компьютером. В соответствии с программой решения экспертов автоматически регистрировались.

Интерфейс, регистрирующий данные, показан на рис. 7 (b), где количество экспертов регистрируется вместе с испытательными данными сеанса сравнения (название, дата). Эти данные имеют динамическую обратную связь с менеджером испытаний через «све-

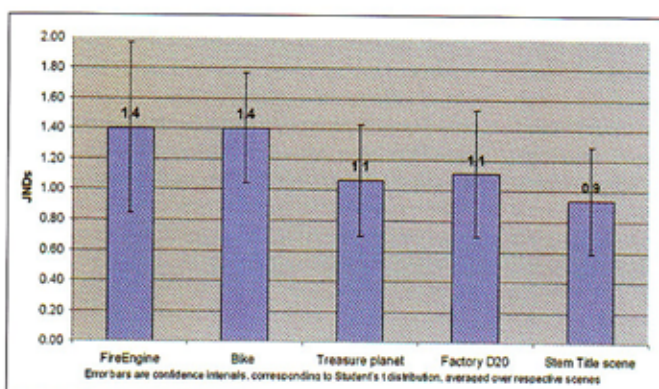


Рис. 9. Измеренные средние значения JND для пяти тестовых сцен. Количественное среднее JND значение представляет специфическую характеристику для каждой сцены и показывает чувствительность к изменению фокусировки

тофор», который указывает, когда эксперты голосовали и каков был их выбор.

Фактический тест FCPC для группы экспертов был неинтерактивен и рассчитан на индивидуальную скорость обучения. После краткого сеанса разминки, в котором эксперты оценили несколько изображений из полной последовательности, им показывали пары последовательностей изображений, соединённых в непрерывное кольцо. Задача состояла в том, чтобы выбрать, какая из последовательностей изображения в каждой паре была наиболее близка к эталону. Как только все эксперты в группе заканчивали свой выбор, менеджер переходил к следующей испытательной сцене.

### Результаты эксперимента

Для проверки MQR ряд тестовых изображений был объединен в последовательный ряд по закону случайного выбора FCPC. Сначала MQR тест был создан для каждой испытательной сцены, как описано выше. Каждый эталонный ряд состоял из десяти тестов с уменьшающейся точностью (соответственно с уменьшением уровня качества). Другие параметры изображения не изменялись. Номинальное качественное приращение каждого предыдущего с последующим эталоном – 2 JND. Изображения беспорядочно объединены по 10 пар в сцене. Рис. 8 иллюстрирует сводный ряд тестов FCPC.

12 экспертов из 64 были исключены из дальнейших испытаний из-за пониженной остроты зрения и неадекватности восприятия цветопередачи. Таким образом, испытания проводились с участием 52 отобранных экспертов.

По результатам проведенных FCPC испытаний количественная разность в JND была рассчитана по формуле 1. Разброс средних значений JND для пяти тестовых изображений показан на рис. 9.

Первые две сцены, полученные соответственно на 65-мм плёнке с высокой разрешающей способностью и 35-мм плёнке после сканирования (пожарная

машина и велосипед), показали разброс в 1,4 JND. Обработанные сцены для перевода в цифровую форму 2K и CGI демонстрируют разброс в 1 JND. Например, реально полученные в MQR разбросы различных сцен показывают более правильный количественный результат, чем 2,0 JND, принятый в качестве шкалы НЧ фильтра в векторе качества. Эти полученные величины JND обеспечивают реальную калибровку вектора качества для каждой сцены. Разница между номинальными значениями JND и полученными значениями JND является результатом чувствительности каждой сцены к малым изменениям фокусировки. Более высокое значение JND соответствует более заметным изменениям в структуре изображений. Обработанные в цифровой форме 2K CGI сцены имеют меньшую разницу в JND, чем те же сцены на киноплёнке из-за низкой разрешающей способности и пониженной плотности цвета. Когда надо выбрать сцены с минимальным количеством изображений, следует выбирать сцены, имеющие максимальное значение JND (пожарная машина, велосипед). Вдобавок к FCPC измерениям были проведены измерения MTF за пределами экрана для каждой MQR позиции. Эти измерения были сравнены с предыдущими измерениями, которые использовались при конструировании вектора качества (см. рис. 3). На рис. 10 показана тестовая и реальная модуляции для двух дискретных частот (0,22 цикла и 0,45 цикла на DP100 экранный пиксел) свыше 9 позиций вектора. Для средней частоты 0,22 цикл/образец значение модуляции одинаково для 9-и позиций. Для более высокой частоты 0,45 цикл/образец, значение модуляции для уровня вектора от 1 до 5 значительно выше, чем для уровня от 6 до 9. Это возникает из-за перфораций экрана.

### Пример использования MQR для определения качества

Для демонстрации эффективности использования MQR метода, был использован контрольный ряд изображений с разной компрессией JPEG 2000. Цель эксперимента состояла в том, чтобы определить ухудшение качества как функцию компрессии. Были выбраны две сцены – пожарная машина и велосипед с компрессией до 100:1 при помощи сервера «Kakadu» V4.3. Использовались изображения, построенные по принципу «бабочка». Коэффициенты компрессии варьировались в пределах: 6:1; 12:1; 25:1; 50:1 и 100:1. Изображения «бабочка» складывались из некомпрессированного изображения 2K (слева) и изображений с различным коэффициентом компрессии (справа). 23 эксперта анализировали указанные изображения. Однако данные для компрессии 75:1 и 100:1 получены только 12-ю и 11-ю экспертами соответственно. Это связано с трудностями оценок качества в единицах JND: так как качество таких изображений

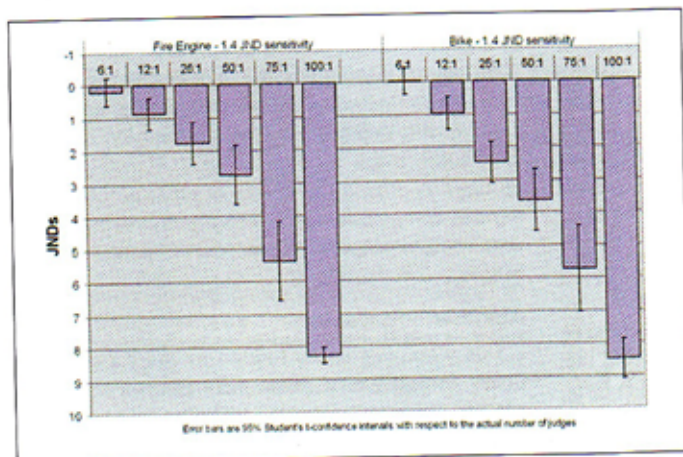


Рис. 10 Функции передачи модуляции расчетные и экспериментальные.

оценивается «хуже худшего», при этом происходит статическое насыщение процесса оценок, и их результаты не могут квалифицироваться в предложенной шкале измерения качества.

### Заключение

В статье описан критерий качества движения (MQR), который является новым методом оценки качества изображения. MQR составлен из ряда эталонных изображений, которые имеют только значимое различие JND качества, и этот признак JND может использоваться для оценки качественных различий, охватывающих широкий диапазон с большой эффективностью. Эталонные последовательности изображают единственную сцену, которая изменяется по единственному признаку – по фокусировке изображения.

Метод MQR был осуществлён и утверждён как специальное испытательное средство, проверенное в типичном кинозале среднего размера в Париже. Использовался современный цифровой проектор, настроенный в соответствии со Спецификацией DCI. Был создан специальный сервер для формирования несжатых 10-битовых потоков данных 2K в формате DPX в соответствии с физическим разрешением проектора.

Критерии MQR были применены для пяти испытательных сцен, выбранных, чтобы представить широкий диапазон изображений и источников контента. Источники контента включали оцифрованные 35 мм и 65 мм негативы кинофильма, электронно-генерируемые изображения и цифровые изображения камеры Arriflex D-20. Контент содержал сцены, снятые с наружным рассеянным светом, наружным прямым солнечным светом, внутренним искусственным освещением, внутренним смешанным освещением с большим контрастом. Чтобы облегчить работу эксперта, разработан специальный диалоговый пульт. Для увеличения достоверности результатов сравнения использовались разработанные голосующие клавиатуры с автоматизированным получением данных.

Результаты испытаний показали, что возможно предложить критерий оценки качества для индивидуальных сцен, который может использоваться, чтобы судить об ухудшении качества в результате компрессии в большом интервале изменения качества. Важно, что метод MQR подходит для оценки качества другой обработки помимо компрессии, включая алгоритмы, используемые при оцифровке, компоновке и составлении программы.



# Мир Кино

## ТЕХНИКИ

### РАСЦЕНКИ НА РЕКЛАМУ В ЖУРНАЛЕ

---

**Стоимость рекламы:**

<b>НА ОБЛОЖКЕ:</b>	2-я сторона – 56 тыс. рублей
	3-я сторона – 42 тыс. рублей
	4-я сторона – 56 тыс. рублей
	<b>ПОЛОСА ВНУТРИ ЖУРНАЛА: 42 тыс. рублей</b>

**Скидки, если реклама оплачивается сразу:**

4 номера – 30%	1/2 полосы – 23 800 руб
3 номера – 25%	1/4 полосы – 11 200 руб
2 номера – 20%	1/8 полосы – 7 000 руб
	1/16 полосы – 3 360 руб

---

Для размещения рекламы просим прислать гарантийное письмо с Вашими реквизитами по адресу: Kevin@paradiz.ru или 125167, Москва, Ленинградский проспект, д. 47, ОАО НИКФИ, офис 920А, на основании которого будет выставлен счет.



# СВЕТ И ЦВЕТ

Л.Ф. Артюшин  
д.т.н., профессор,  
ОАО НИКФИ

(ПРОДОЛЖЕНИЕ, ЧАСТЬ 3)

## 12. Экспонирование в видеосъемках

В видеосъемках принцип экспонирования другой, а именно такой же, как в обрабатываемых киноплёнках, имеющих вдвое меньшую фотографическую широту в сравнении с кинопозитивом.

Экспонирование в видеокамере осуществляется СВЕТОМ. Экспонирование проводится с автоматической установкой значений диафрагмы, а в случае необходимости можно повысить значение диафрагмы усилением видеосигнала на +6, +12, +18 дБ. Тем самым удаётся увеличивать значение диафрагмы для съёмки с повышенной глубиной чёткости изображения, а также избежать экспозиционной ошибки «недодержки». Автоматическая установка экспозиционно необходимой диафрагмы и/или компенсирующего усиления видеосигнала (GAIN) в большинстве документальных съёмок является наилучшим вариантом «правильного» экспонирования.

Однако в отдельных случаях, например, при съёмках на слишком тёмном или на слишком светлом, ярком фоне, возникает потребность в ручной корректировке экспозиции для компромиссного визуального решения. Компромиссное решение находится либо работой с автоматическим экспонированием, либо с визуальной корректируемой равноконтрастной градуировкой на ТВ по изображению серой шкалы, наблюдаемой оператором во время съёмки в видеоискателе камеры. Этот метод называется экспонирование по "ЗЕБРЕ", но используется она только в специальных камкордерах опытным оператором по визуальному контролю соотношения яркостей, хорошо видимому в ТВ окуляре видеокамеры.

## 13. Студийный свет в телевидении и кино

При студийных многокамерных ТВ съёмках для пра-

вильного экспонирования устанавливается специальное освещение. Распределение света устанавливается заранее специалистами по свету так, чтобы с нормальной экспозицией, при не слишком ярком освещении от 1500 до 2000 люкс, можно было снимать в разных направлениях, не затрудняясь в фокусировке.

Значение диафрагмы по международным правилам устанавливается и контролируется централизованно (через дистанционную систему — через контрольные карты или по телевизионному кабелю с центрального пульта или от ведущего телеканала). При студийных ТВ видеосъёмках, когда не осуществляется централизованное управление, возможна индивидуальная установка на различные по крупности планы с применением киноосветительной технологии (экспонирование по ключевой яркости на наиболее важных участках).

В кино при постановке студийного освещения руководствуются тем, чтобы светотеневое распределение освещённости в глубину сцены соответствовало драматургии снимаемого эпизода по контрасту и световой тональности.

В киносъёмке художественных фильмов обращается внимание на светотональную экспонометрию — на съёмку с заведомо сниженной градацией в тенях, которая в видеосъёмке трудно осуществляется вследствие малой полезной фотошироты — 16 дБ (при киношироте в 27-30 дБ).

При видеосъёмке используется изобразительная корректировка равномерного освещения, что особенно важно при натуральных съёмках, и в видео и ТВ камерах применяется автоматическое отображение шкал серых тонов на характеристической кривой с помощью метода распределения освещения, называемого «зёброй».



В кинематографе цветовую коррекцию приходится проводить при печати с негатива, промежуточного позитива и дубль-негатива с измененным размером и форматом кадра. Например, при переходе с 35-мм пленки на 16-мм и при изменении формата кадра с широкоэкранного 35-мм (2,35:1) к стандартному «академическому» 35-мм (1,37:1) с выбором сюжетной части из широкоэкранного изображения (по типу видеокопирования «ран-а-скан»). Характерно, что при цветовом корректировании в 35-мм копии приходится не только изменять цветовой тон по всей фильмокопии (форфильтром), но ещё приходится вводить поплановую цветовую коррекцию на разномасштабные планы копировальным паспортом.

При изготовлении с 35-мм негатива 35-мм фильмокопии для телевидения, её приходится делать специально светлой и малоконтрастной в тенях. Поплановая цветовая коррекция, которая потребовалась бы для просмотра на большом киноэкране, при изготовлении светлой копии для телевидения по ряду причин не делается. По существу, она не обязательна вследствие адаптации зрительного восприятия к телепередачам быстрого изменения цветовой тональности вследствие видеосъёмки с разных камер.

При монтаже видеофрагментов для телевидения проводится цветовая коррекция. При конвергенции видео- и киноформатов, осуществлённой в цифровом кино, цветовая коррекция в копировании требуется, и она предусмотрена в компонентном варианте R, G, B.

В копируемых процессах, необходимых для крупноформатного цифрового производства, применяется конвергенция аналогового киноформата в цифровой видеоформат, а также обратная конвергенция цифрового видеоматериала в аналоговые киноплёночные или стандарты телевизионного формата.

Цветовая коррекция аппаратурно предусматривается соответственно при изготовлении цифровой видеозаписи фильма, предназначенной для «электронной проекции» на большом экране. Цветовая коррекция должна проводиться при изготовлении цифрового интернегатива. Поплановая цветовая коррекция проводится для детального сравнения качества киноизображения в формате 358P (VistaVision) с цифровой копией фильма в её электронной проекции (показывающей вполне сравнимые результаты).

#### 14. Структурные схемы кино- и видеокамер

Съёмочные кинокамеры и видеокамеры имеют функционально однотипные блоки – оптический, растрово-цветоделительный и градационной коррекции.

Эти блоки одинаковы для телевизионной камеры и сделанной на её основе профессиональной видеокамеры – камкордера. В камерной головке имеются необходимые усилители и ряд блоков для цветовой и другой

коррекции, для автономного управления съёмочными параметрами объектива и строчно-кадровой разверткой с целью улучшения чёткости, повышения светочувствительности и адаптации градационного преобразования к снимаемым объектам по аналогии с изменением гаммы цветного проявления и дополнительной засветки киноплёнки.

Видеосъёмка — это киносъёмка на обращаемую киноплёнку. Ошибки, сделанные при съёмке, не исправляются в позитиве.

Киносъёмочный процесс со съёмкой на негативную киноплёнку имеет ряд преимуществ по сравнению с видеосъёмкой, поскольку он имеет большую фотошироту и допускает цветовую коррекцию при копировании.

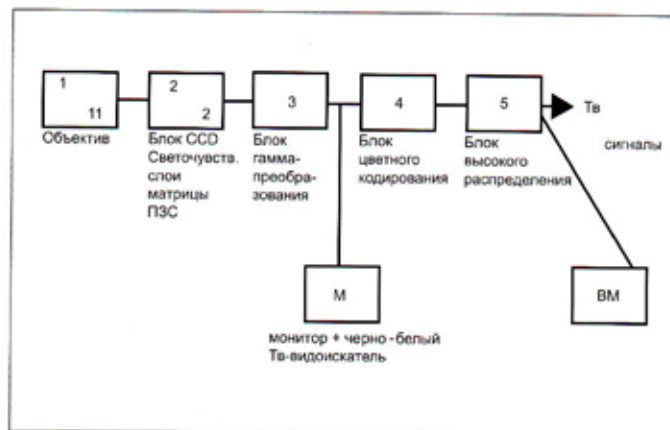
Вместе с тем, при правильной экспозиции, видеосъёмка обеспечивает так же, как обращаемая киноплёнка, большую чистоту цветов, их насыщенность, а также яркость мелких цветных деталей. Естественнее и достовернее отображает цвета окрасок природных объектов. Отличие видеосъёмки в том, что в тенях изображения возникают значительно большие экспозиционные шумы. Все это объясняет, насколько различны условия кино- и видеосъёмки и насколько специфичны требования к современным цифровым видеокамерам и цифровым кинокамерам, в которых используются электронные преобразователи свет-сигнал.

В современных стандартах электронной передачи изображения, в частности, в рекомендации по стандарту телевидения высокой четкости (ТВЧ) ITU-2 BT 709-3, для пояснения механизмов оптоэлектронных преобразований светоотражающих характеристик объекта, происходящих в камерах, применяются два обозначения видеосигналов: L и V.

Если L обозначает полезный яркостной сигнал, то зашумленный сигнал находится в пределах двух вероятных отклонений:

$$(L - 0,01) \text{ и } (L + 0,01).$$

Отношения сигнал/шум в яркостном выражении  $(L + 0,01) / L$  и  $(L - 0,01) / L$  логарифмируются. После



логарифмирования зашумленного сигнала получают две характеристические кривые:  $D'(L)$  и  $D(L)$ . Они различаются тем, что значение 1% шума сильно возрастет при уменьшении  $L$  на 1% (0,01) и уменьшится – при увеличении  $L$ :

$$D' = -\lg(L + 0,01) \text{ и } D'' = -\lg(L - 0,01)$$

Благодаря прямо пропорциональному воспроизведению градации оптических плотностей оригинала в изображении, цветовые соотношения остаются постоянными, а уровень освещения изменяется.

Важнейшим элементом электронной обработки является формирование яркостного сигнала, имитирующего изображение серой шкалы. Для формирования этого яркостного сигнала гамма-преобразованные сигналы суммируются в следующей пропорции:

R	G	B	
45	45	10	PAL
20	50	11	NTSC
21	72	07	цифровое кино

В современных цифровых видео- и кинокамерах применяются матрицы ПЗС с высокой плотностью светочувствительных элементов – пикселей, а также широкополные схемы обработки видеосигналов.

Поэтому в кино- и телекамерах для ТВЧ чёткость может достигать 9000 ТВЛ по частоте и более. Чёткость 11 МГц почти в два раза превышает «полосу частот» стандартного телевидения, например для PAL – это 6,75 МГц. Сигналы с частотой, превышающей указанные значения, отсекаются совсем.

Но в системе PAL благодаря чересстрочной развёртке сигналы цветности переносятся на поднесущую частоту, вдвое меньшую всей полосы. Поэтому в последующем воспроизведении с гаммой 2,2 – 3,5 мелкие цветные детали восстанавливаются и даже увеличивают исходную контрастность, и цветоразностный сигнал вдвое, втрое увеличивает пространственную частоту.

Для правильного воспроизведения пространственной частоты полоса частот должна быть ограничена сверху по критерию Найквиста, а снизу – значением, зависящим от цветового излучения. Фильтром низких частот отсекают частоту, меньшую 100 Гц: 50 Гц (R), 100 Гц (G) и 75 Гц (B).

Максимальная четкость ограничивается модуляцией на «критериальной частоте» 5 МГц. В типовых камерах на этой частоте функция передачи модуляции (MTF) достигает значения 70%.

Фильтр, пропускающий низкие пространственные частоты (ФНПЧ), ограничивает полосу яркостного сигнала, что позволяет исключить из него цветовые сдвиги цветных контуров. Это позволяет исключить перекрёстные цветные «интермодуляционные искажения», вызываемые эффектом «элайзинг» (наложение спектров). Для исключения излишней светочувствительности, имеющейся в инфракрасной области, осуществляется фильтрация инфракрасных излучений.

Сигналы, прошедшие пространственную фильтрацию и цветовую фильтрацию R, G, B, попадают на матрицы на приборах с зарядовой связью (ПЗС), которые являются «светочувствительными слоями» камеры. Преобразователи оптического изображения в трёх матрицах ПЗС благодаря растровой структуре этих матриц осуществляют пространственную и временную дискретизацию по строкам с поочередным сдвигом R, G, B на 0,5 пикселя, что позволяет зафиксировать наиболее яркие «парные цвета»: Y, M, C (желтый, пурпурный, голубой).

В профессиональных камерах применяются высокочувствительные матрицы ПЗС со строчным переносом зарядов (IT CCD) или со строчно-кадровым переносом зарядов (FIT CCD) и матрицы типа IT. Когда перенос зарядов осуществляется чересстрочно, то в одном ТВ-поле за 1/50 сек. регистрируются чётные строки, а в следующем – нечётные. Изменением режима переноса зарядов из строк матриц ПЗС изымаются межстрочные цветовые искажения, именно так повышается четкость мелких деталей в PAL.

Электрические сигналы, выдаваемые ПЗС, прежде чем стать видеосигналами, проходят аналоговую и цифровую обработку. Первым изобразительно важным аналоговым преобразователем является устройство «обесшумливания» сигналов, построенное по схеме «двойной корреляционной выборки». Вторым аналоговым преобразованием является предварительный регулируемый усилитель видеосигнала (Gain Hyper Gan). Третий – аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Обесшумливающее устройство, построенное по схеме двойной корреляции, осуществляет: во-первых, выборку, затем запоминание и, наконец, вычитание «шумовой добавки», которая возникает во всей трёхуровневой обработке сигнала до выхода с ПЗС. Эти шумы возникают на уровне сброса, на уровне привязки и на уровне выходного сигнала из ПЗС. Причем шумовая добавка оказывается одинаковой как в момент фиксации уровня привязки, так и в момент выборки информационного сигнала с удалением шумовой добавки от транзистора. Так удаётся: определить, запомнить и вычесть постоянную шумовую составляющую.

Благодаря корреляционной выборке динамический диапазон у цифровых камер достигает чрезвычайно большого значения (600:1) – 56 дБ, и выше, до 63 дБ.

Электронно-оптические преобразования (в телевизоре) являются обратными к преобразованиям в съемочной камере.

**15. Изобразительные требования и спецификация фильмов**

Какие изобразительные требования обязательны в связи с продвижением к цифровому кино на больших экранах? Для фильмов, снимаемых как для большого, так и для малого экранов – это требование монтажной согласованности фрагментов и их цветовой выровненности для каждого эпизода в каждой сцене.

Каковы же изобразительные отличия?

Кинофильм – это иллюзия: её нельзя разрушать, её следует создавать, используя драматургические изменения цвета и контраста света по эпизодам для создания требуемого по сюжету «настроения».

Телевизионные фильмы – фильмы, снятые в кинопроизводстве для телевидения, это адаптированные кинематографические монтажные и изобразительные композиции. Упростив их для массовых телевизионных просмотров, пришлось снимать больше многоплановых, глубинных мизансцен, уменьшить количество общих планов, исключить миниатюризацию изображения разноудаленных персонажей. Но ещё остаётся драматургия.

В видеосъёмках семейства «телесериалов» требуется дополнительная адаптация по более ясному освещению в игровых сценах и по подчёркнутой разноконтрастности представленной среды. Условность, знаковость света стала преобладать над индивидуальным представлением психологического состояния персонажей.

Привнесение компьютерной технологии в игровые фильмы сформировало тот изобразительный стиль, который получил название «масс-культура». Но остались фильмы, сделанные с душой, некогда включенные в систему телевизионного вещания, хотя в них нет любимой зрителем тяги к ярким цветам и броским ритмам укрупненных мизансцен.

Время традиционной широкоформатной и широкоэкранной кинематографии на ТВ проходит. Остаются телефильмы, снятые кинематографически для телевизионного малого экрана. На ТВЧ экран в США готовили цифровые копии широкоформатных фильмов, снятых в формате VistaVision, на этот формат ориентируется кинотелевизионное кино D-Cinema.

**16. Три аспекта предназначения D-Cinema**

Назначение фильмокопии определяется типом проекции: цифро-

вой или аналоговой – КИНОТЕАТР, ДОМАШНЕЕ КИНО, ТВ ЭКРАН.

Форматы съёмки коммерчески оправданы, когда пригодны для киноэкрана и ТВ 24/25 кадр/сек.

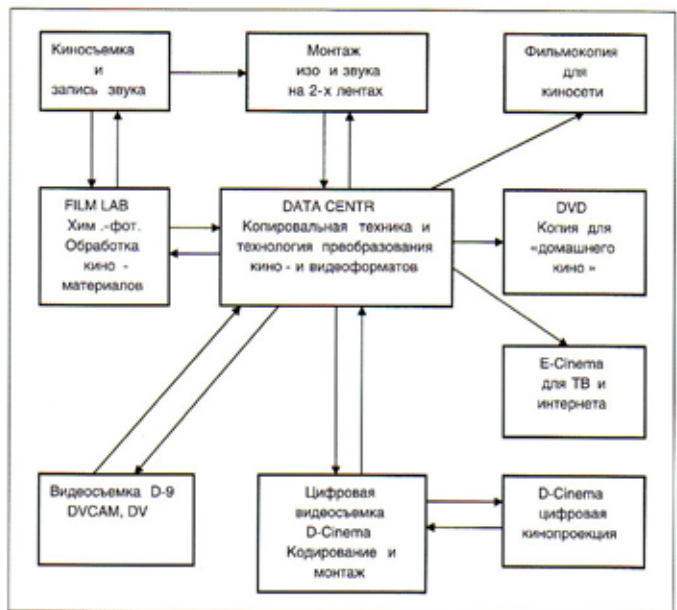
Преобразование форматов съёмки и формата проекции осуществляется в копировальном центре DATA CENTR.

Копирование с конверсией предусматривает изменения размера и формата кадра.

Копирование конвергенционное включает преобразование частоты кадров, переход от чересстрочной развёртки к прогрессивной и обратный переход.

Копировальные преобразования предусматривают изменения форматов цифровой проекции и форматов транспортирования с компрессией/декомпрессией сигналов, упаковку/распаковку фильмов на станции отправления и в пункте получения фильма цифровым кинотеатром.

**17. Производственные схемы электронного и цифрового кино**

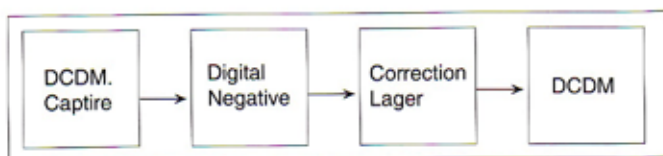


Цифровое промежуточное производство DI			
Традиционная подготовка негатива фильма (изображение + звук)	DSM Сканирование негатива + цифровые копии А/Д Цифровой интер-негатив	Мастеринг Цветовая коррекция цветовыровненный цифровой интер-негатив/позитив в ТВ стандарте	DCDM Подготовка D-Cinema Distribution Мастер-подготовка к цифровой проекции и транспорту

## 18. Цифровое промежуточное кинопроизводство

В цифровом киноцентре требуется просканировать кинонегатив с переходным паспортом. DSM – это цветовая коррекция выровненных по цвету разноэкспонированных фрагментов кинонегатива (Экспозиция R', G', B' – коррекция по каналам).

В цифровом киноцентре (Data Centron) осуществляются все операции по сканированию негатива, цифровому копированию негатива, по цветовой каналной коррекции и по подготовке цифровой копии D-Cinema, для распределения по видеопроекционной системе посредством телевизионного (и Интернет) транспортирования (с засекреченной упаковкой и распаковкой).



DSM – 2-х этапный процесс. На первом этапе осуществляется цифровое копирование, цветовая коррекция для цветового выравнивания фрагментов и регулирование гаммы для градационной компрессии. Заканчивается процесс цифровой копией для D-Cinema.

Обработка DSM допускает возможность мастеринга в аналоговых форматах (NTSC, PAL) и HDTV – видеокопирование фильма конкретной протяженности.

Цифровая обработка DCDM предусматривает изготовление цифровой копии фильма для видеопроекционной системы, отличающейся от стандарта ТВ цветовым охватом, цифровым квантованием (bitdepth), «пиксельным форматом», форматом кадра, «транспортным протоколом» и интерфейсом видеопроектора.

Стандарт на цветовой охват предусматривает такую смену основных цветов аддитивного синтеза, которая приближает его к зрительному цветовому охвату (human – Visible color space)

Стандарт по цифровому квантованию предусматривает то, что каждый цветоделительный сигнал R, G, B будет представлен 12-ти битным логарифмическим кодированием. Иначе говоря, предусматривается логарифмически линейная градация тонов, получаемая равноконтрастным квантованием логарифмированных видеосигналов.

Главным требованием разрабатываемого международного стандарта для D-Cinema является качество цифрового кинопоказа не хуже качества 35-мм кинофильма. Даже в случае использования в съёмках и копировании стандартов HDTV и HDCAM.

## 19. Стандарты HDV

HDV – это стандарт с чересстрочной развёрткой 1080i, имеющий сниженное количество элементов по строке – 1440 x 1080 вместо 1920 x 1080 в HD 1080i.

Спецификация HDV, так же, как HD 1080i, включает 720р при 24, 25 и 30 кадр/сек., а также 50i и 60i. Две чересстрочные частоты: 60i – для США и 50i – для Европы.

Изображения формата 16:9 формируются (в частотах тока 50Гц и 60Гц) квадратными пикселями в чересстрочной развёртке, дающими высокое качество на плазменных и ЖК экранах.

Стандарт HDV был предложен фирмами Canon, Sharp, Sony и JVC. Он быстро получил поддержку других компаний. По-видимому, HDV станет стандартом де-факто, независимо от того, утвержден этот стандарт SMPTE или нет.

В начале 2004 года фирма JVC впервые в мире выпустила одноматричную камеру JY-HD10, способную снимать в стандартах 720/30р или 480/60i через встроенный повышающий преобразователь стандартов. 50Гц версия – это камера HD10, и в том же 2004 г. она появилась в Европе.

Фирма Sony разрабатывает камеру с тремя ПЗС матрицами, с возможностью записи широкоформатного изображения (DVCAM) и стандартом звука 48 кГц/16 бит (поток 384 кбит/с). Камера обладает функциями временного кода, поддержкой HDV 1080i и стандартом 720р.

Опробование видеокамеры HD10 JVC (стандарт HDV) показало, что она непригодна для получения профессионального звука и не воспроизводит плохо освещённые объекты со сложными световыми эффектами (изображение примерно на 10% темнее, чем в монохромном изображении).

Однако в BBC полагают, что трёхматричные камеры, разрабатываемые в настоящее время, обещают более высокие возможности. Новая видеокамера фирмы Sony обладает многими достоинствами, среди них профессиональный звук и опция для записи изображения в стандартах DVCAM и HDV.

*(Окончание следует)*

## Трёхмерный симулятор боевых действий Virtual Iraq

Американские психиатры собираются использовать виртуальную реальность для реабилитации американских военнослужащих, принимавших участие в боевых действиях в Ираке и страдающих расстройством психики. С помощью системы Virtual Iraq медики намереваются помещать ветеранов в условия, предшествующие приобретению психической травмы, и проигрывать альтернативный сценарий развития событий.

Использование в разработке самых современных технологий позволяет обеспечить максимально глубокое погружение. Эффект присутствия должен возникать благодаря реалистичному видеоряду и звуковому сопровождению, кроме того, система способна воспроизводить характерные запахи пороха, дыма, бензина и др. В настоящее время испытания системы проводятся в 10 медицинских клиниках в разных городах США. Однако небольшое количество солдат, прошедших курс лечения (всего 4 человека), пока не позволяет делать однозначных выводов об эффективности подобной терапии.

[www.ve-group.ru](http://www.ve-group.ru)



# Некоторые рекомендации при выборе видеопроектора

А. Комаров,  
КинотехК°

## Световой поток

Это важнейший параметр любого проектора, который рассчитывается по общепринятой методике Американского института национальных стандартов (ANSI) как усреднённая освещённость (в люксах) по 9-и равномерно распределённым точкам контрольного экрана с размерами 0,82x0,61 м, умноженная на его площадь (0,5 м<sup>2</sup>), т. е. вычисляется как полусреднее значение результатов девяти измерений. При измерениях устанавливается минимальное – фокусное расстояние объектива, а проекционное расстояние выбирается таким образом, чтобы размеры проецируемого «белого поля» точно соответствовали контрольному экрану. Количественной единицей светового потока является люмен (лм). Чем больше световой поток проектора, тем с большими размерами экрана можно работать, и тем меньше требований к затемнению помещения. Оценить минимально необходимый по кинематографическим нормативам световой поток проектора можно, умножив желаемую площадь экрана (в м<sup>2</sup>) на 80. Если световой поток проектора в 500 раз превышает площадь экрана с хорошим покрытием, например, АТ1200, то его яркость будет примерно соответствовать яркости экрана больших цветных телевизоров.

**Освещённость** – характеристика падающего на поверхность светового потока. Единица измерения – люкс (лк). 1 лк – это освещённость поверхности площадью 1 м<sup>2</sup>, которая получает равномерно распределённый по ней световой поток в 1 лм.

**Сила света** – плотность светового потока, определяемая отношением его величины к простран-

ственному углу, в пределах которого он распространяется и равномерно распределяется. Единица измерения – кандела (кд), название происходит от английского слова Candle (свеча).

**Яркость** – характеристика света, отражаемого или излучаемого в данном направлении светящейся поверхностью, например, проекционным экраном или плазменной панелью. Единица измерения яркости определяется отношением кандела на квадратный метр поверхности экрана (кд/м<sup>2</sup>). 1 кд/м<sup>2</sup> – яркость такой поверхности, которая в перпендикулярном направлении излучает силу света в 1 кд с 1 м<sup>2</sup> поверхности. Яркость – единственная из световых величин, которую непосредственно воспринимает глаз, и, при отсутствии поглощения света в среде распространения, она не зависит от расстояния. Нормативная яркость экрана в профессиональных кинотеатрах составляет 25-60 кд/м<sup>2</sup>, а у современных цветных телевизоров не менее 200 кд/м<sup>2</sup>.

**Равномерность распределения** светового потока – по методике ANSI аттестуется отношением минимальной освещённости в 9 зонах контрольного экрана к максимальной освещённости. При равномерности более 85% яркость всего экрана воспринимается практически одинаковой.

**Контрастность** – отношение освещённости при демонстрации белого и чёрного полей (Full On/Of) или средних освещённостей белых и черных прямоугольников при демонстрации 16-клеточного шахматного поля (ANSI Checkerboard).

## LCD (жидкокристаллические) панели

Это основные оптико-электронные компоненты LCD проекторов, на которых электроникой создаются просвечиваемые кадры изображения. В LCD проекторах могут быть термостойкие полисиликоновые (p-Si) ЖК панели. LCD проектор содержит три панели, по одной в оптических каналах первичных цветов R, G и B.

**Оптическое разрешение в цвете** выражается в виде количества пикселей в ЖК панели по горизонтали и вертикали проецируемого кадра. Для нормального воспроизведения вещательных телевизионных программ, цветных магнитных и дисковых видеозаписей, включая DVD, достаточен проектор с разрешающей способностью SVGA (800x600 пикселей). Но для того, чтобы не различать пиксельную дискретизацию экранного изображения, расстояние до первых зрительских мест не должно быть меньше, чем полторы ширины экранного изображения, что соответствует нормативному расположению первого ряда зрителей в типовых кинотеатрах. Проекторы с более высоким разрешением обеспечивают высококачественное отображение компьютерной графики MAC 16 (832x624), XGA (1024x768), SXGA (1280x1024/1365x1024 для форматов кадра 5:4/4:3) и UXGA (1600x1200/1920x1080 для форматов кадра 4:3/16:9) и позволяют лучше рассмотреть детали изображения.

## Объектив

Проекторный объектив – обычно объектив с изменяемым фокусным расстоянием, позволяющий пользователю изменять (масштабировать) размеры экранного изображения, не изменяя дистанции проекции. Объективы во многих современных проекторах оснащены электроприводами, позволяющими не только вручную, но и с пульта ДУ изменять масштаб изображения и регулировать фокусировку. Это создаёт удобства при использовании проектора как мобильного устройства и при его креплении для проекции с потолка помещения.

**Фокусные расстояния, относительные отверстия.** Эти данные могут быть полезны для специалистов, способных выполнить светотехнический расчёт при выборе проектора для конкретного помещения. Необходимо иметь в виду, что, с точки зрения яркости экранного изображения, желательно использовать проекцию при минимальном фокусном расстоянии объектива, т. е. размещать проектор на минимальном расстоянии от экрана нужных размеров. Проектор при этом обычно оказывается между зрителями и экраном.

**Коррекция трапецидальных искажений.** Отклонения плоскости основания проектора от горизонтальной плоскости приводят к появлению трапецидальных искажений проекции, при которых верхняя часть кадра будет изображаться на экране шире, чем нижняя, или

наоборот. В большинстве существующих проекторов проекционная оптика сконструирована таким образом, что ось проекции отклонена от горизонтальной относительно плоскости основания проектора на фиксированный восходящий угол (оптическим офсет) с соответствующей оптической коррекцией трапецидальных искажений. При этом большая часть прямоугольного экранного изображения оказывается выше уровня проекции. В частности, величина офсета 19:1 означает, что 19 из 20 частей изображения по вертикали находится выше уровня проекции, и только одна часть – ниже.

Наиболее удобной является функция смещения изображения по вертикали, позволяющая оператору смещать остающееся прямоугольным изображение относительно экрана вверх и вниз. Некоторые модели оснащены функцией оперативной коррекции трапецидальных искажений, которые устраняются с пульта ДУ при отклонениях проектора от горизонтали в пределах 30°.

**Проекторные расстояния и размеры изображения.** В описании проектора должны быть таблицы, где указаны диапазоны расстояний между проектором и экраном, в пределах которых предусмотрено получение сфокусированных изображений. Здесь же приведены удобные для пользователя расчётные данные отношений проекционных расстояний к ширине экранного изображения, зависящих от масштабирования. В характеристиках на видеопроектор должны быть приведены данные о минимальных и максимальных размерах диагоналей сфокусированных изображений, соответствующих допустимым проекционным расстояниям.

**Инверсии по вертикали/горизонтали.** Некоторые проекторы имеют потолочное крепление. При потолочном креплении проекторы с фиксированной коррекцией трапецидальных искажений (оптическим офсетом) приходится переворачивать основанием вверх. Поэтому некоторые проекторы оснащены функцией инверсии (переворота) экранного изображения по вертикали и горизонтали. При проекции на просветный экран возникает необходимость в инверсии (зеркального отражения) только по горизонтали.

Проекторы, которые оснащены функцией смещения изображения по вертикали вверх и вниз, тоже допускают потолочное крепление основанием вверх, что удобно, так как сохраняется доступ к кнопкам управления на панели проектора.

**Форматы изображений.** Проекторы должны обеспечивать нормальное соотношение 4:3 сторон экранного изображения по горизонтали и вертикали, а некоторые из моделей имеют показ в формате 16:9, который необходим, например, при работе с телевизионными сигналами высокой чёткости или при воспроизведении видеозаписей, сделанных в таком формате. Кроме того, проекторы с оптическим разрешением SXGA наилучшим

образом работают в формате 5:4, соответствующем разрешению ЖК панелей.

### Источники сигналов

Проекторы могут быть мультимедийными, т. е. предусматривать работу с компьютерными и с аналоговыми источниками сигналов.

**Поддержка компьютерной графики.** Должна быть приложена таблица, где приведены диапазоны кадровых и строчных частот автоматически распознаваемой компьютерной графики, а в инструкциях для пользователя содержатся конкретные частоты для десятков версий компьютерных сигналов. Для тех редких случаев, когда какая-либо новая версия автоматически не распознается, предусмотрены ручная установка и запоминание необходимых параметров в памяти проектора. Некоторые модели оснащены гнездом для типовых компьютерных карт памяти и способны обеспечивать презентацию без подключения внешних источников информации.

**Системы цветности.** Многие проекторы прекрасно работают с композитными (суммарными) сигналами яркости и цветности в наиболее распространенных системах NTSC, PAL, SEKAM. Но в некоторых странах используют другие системы, несовместимые с перечисленными по цветности. Например, видеозаписи из Бразилии и Уругвая (PAL-M и PAL-N соответственно) при показе типовыми проекторами NTSC, PAL, SEKAM становятся черно-белыми, даже если они проигрываются аппаратурой, совместимой с системами PAL-M и PAL-N. В большинстве проекторов предусмотрены и эти системы цветности. С точки зрения качества изображения, лучше пользоваться отдельными сигналами S-Video (яркости и цветности), работа которыми должна обеспечиваться проекторами.

**Компонентные видеосигналы.** Наилучшее качество воспроизведения цветного изображения проекторы обеспечивают при работе с компонентными (декодированными) видеосигналами. Такими сигналами являются сигналы RGB первичных цветов (красного, зеленого и синего) при работе с компьютерами или сигналы яркости Y и цветоразностные (B-Y и R-Y), используемые в телевидении. Многие проекторы оснащены разъемами для таких сигналов и их разновидностей, как Y-Cb-Cr и Y-Pb-Pr, используемых при видеозаписях DVD и в цифровом телевидении HDTV (SDTV) соответственно. Кроме различных коэффициентов матрицирования, которые должны обеспечивать равенство  $Y=R+G+B$ , компонентные сигналы отличаются форматом кадра и способом развёртки изображения, при котором они формируются. Наиболее распространены разновидности 1080i, 1035i, 575i, 480i и 720p, 575p, 480p компонентных сигналов с чересстрочной (interlace) и прогрессивной (progressive) развёрткой

соответственно (цифры здесь соответствуют разрешению по горизонтали). Разумеется, для работы с компонентными видеосигналами соответствующие выходы должны быть у источника видеосигнала. В частности, высококачественные проигрыватели DVD их имеют.

### Источники света

В мультимедийных проекторах применяются миниатюрные дуговые лампы с собственной световой отдачей не менее 100 лм/Вт. Как правило, это металлогалогенные лампы MH (Metal Halide) высокого или сверхвысокого давления, которые имеют приблизительно вдвое большую световую отдачу. Последние часто маркируются символами UHP (Ultra High) с различной расшифровкой последней буквы (Performance, Pressure или Power), за которой следует цифра потребляемой мощности. Такие лампы выполняются в едином конструктиве с отражателем и защитным стеклом. Встречаются и другие маркировки, например, NSH (New Short arc High pressure). Типовым сроком службы дуговых ламп принято считать время, в течении которого создаваемый ими световой поток уменьшается вдвое. В среднем этот срок составляет 2000 часов.

**Светотехническая эффективность.** Весьма информативным показателем является величина создаваемого проектором светового потока, отнесенная к мощности проекционной лампы. Высокоэффективные лампы и оптические системы современных проекторов обеспечивают это отношение не менее 5 лм/Вт. Проекторы должны с запасом обеспечивать этот показатель, который характеризует прозрачность всех компонентов оптической системы, т. е. светотехническую эффективность проектора при показе «белого поля». Так как она всегда меньше собственной световой отдачи ламп, в проекторах применяются, например, конвертеры поляризации и микролинзовые растрсы.

### Вентиляционный шум

Так как светотехнический КПД у проекторов любых технологий весьма мал, можно считать, что вся потребляемая ими энергия превращается в тепло, а оно должно выводиться, чтобы не перегревалась электроника и не нарушалась юстировка оптических компонентов. Поэтому все проекторы должны оснащаться активными системами вентиляции, которые шумят тем больше, чем больше потребляемая мощность, что особенно ощутимо в малых помещениях. У малозумящих проекторов создаваемый ими вентиляционный шум (измеряется в дБ по уровню звукового давления на расстоянии 1 метра от проектора) не превосходит аналогичного шума типовых персональных компьютеров (40 дБ).

## От редакции

В №4 нашего журнала был помещён материал под названием: « В ближайшие годы существенно возрастет производство 3D-фильмов ». Создатели сайта, публикуя этот материал, допустили неточности.

Следует отметить, что термин 3D (3 dimensional – трёхмерный, объёмный, пространственный) применяют и для обозначения объёмных однокурсных (нестереоскопических) изображений (в компьютерной графике, кукольной анимации), и для обозначения стереоскопических (двухкурсных и многокурсных). Авторы, судя по всему, не знали о неоднозначности термина, и материал статьи даёт основание сделать вывод, что фильм « В гости к Робинсонам » является стереоскопическим, что не соответствует действительности.

Сравнивая сегодняшнюю технологию демонстрации стереофильмов с технологией, используемой в середине прошлого века, авторы ошибочно утверждают, что **«зритель должен был надевать очки с красными и синими стёклами, чтобы воспринимать 3D-картинку»**. Однако анаглифный метод сепарации (именно о нём идёт речь), действительно применявшийся для демонстрирования стереоскопических чёрно-белых фильмов, начиная с 1915 года<sup>1)</sup>, к середине века был практически полностью вытеснен поляризационным методом, и в начале 50-х годов только в США было снято более сотни полнометражных цветных стереофильмов. Проекция стереопар осуществлялась двумя поляризованными пучками света на экран с алюминированным недеполяризующим покрытием, и зрители наблюдали стереоизображение в очках с поляризационными светофильтрами, а не с **«поляризованными линзами»** (фантазия авторов или низкая квалификация переводчика?). Этот метод, известный с 30-х годов и используемый в течение многих десятилетий при демонстрировании стереофильмов с киноплёнки (в том числе на сверхбольших экранах в кинотеатрах IMAX), по сути остаётся тем же при стереокинопоказе в поляризованном свете с использованием двух цифровых проекторов.

Если говорить о новой технологии стереокинопоказа

с помощью цифрового кинопроектора, которая начинает применяться сегодня, то необходимо сказать о двух её разновидностях. В основу первой положен так называемый эклипсный метод сепарации (метод попеременных затемнений, способ миганий). Кинопроектор, оснащённый для стереокинопоказа, поочередно, с высокой частотой проецирует изображения левого и правого ракурсов. Зрители наблюдают стереоизображение в специальных активных коммутационных стереочках, светофильтры которых, представляющие собой жидкокристаллические ячейки, с той же частотой, поочередно, пропускают изображения для левого и правого глаза. Очки, по внешнему виду практически не отличающиеся от поляризационных, управляются от излучателя сигнала, расположенного над экраном. Благодаря высокой частоте переключений световых потоков, несущих изображения левого и правого ракурсов, мигания зрителями не воспринимаются. Что очень важно, для стереопроекции по этому методу годится любой самый обычный экран.

Другая разновидность предусматривает использование металлизированного недеполяризующего экрана, дешёвых пассивных поляризационных стереочков и устанавливаемой перед проекционным объективом коммутационной стереопанели, которая поочередно, синхронно с частотой переключения ракурсов кинопроектором, поляризует световые потоки для левого и правого глаза.

Учитывая вышеизложенное, не ясно, что имели в виду авторы, называя стоимость оборудования 3D-кинотеатра (\$ 17000). Например, для первого варианта, с учётом общей стоимости цифрового кинопроектора и комплекта активных стереочков (одни очки – около \$60) цена более чем в 10 раз выше.

Редакция приносит свои извинения читателям за публикацию данного материала.

Авторам материала « В ближайшие годы существенно возрастет производство 3D-фильмов », представленного на сайте [www.ve-group.ru/news](http://www.ve-group.ru/news), редакция, во-первых, приносит свои извинения за публикацию без ссылки на источник и рекомендует переработать данный материал или снять его с сайта, чтобы не вводить в заблуждение пользователей Интернета.

1) В 90-х годах для кинопроекции был опробован способ сепарации цветных стереокиноизображений, основанный на вычитании из трёхцветного изображения для одного глаза красной составляющей, а для другого глаза – синей и зелёной. В анаглифных стереочках благодаря физиологическому эффекту бинокулярного смещения цветов стереоизображение воспринималось цветным (пример: « Дети шпионов 3 »). Из-за ряда недостатков этот способ для использования в кинотеатрах был признан бесперспективным.