ISSN: 1991-3400
World of Technique of Cinema (WTC)
Мир Техники Кино

стр. 7

стр. 16

стр. 31

стр. 36

2017-4 (11) СОДЕРЖАНИЕ

Доклады

Г.И. Грейсух, Е.Г. Ежов, С.В. Казин, С.А. Степанов
Однослойные дифракционные элементы для фото- и видеокамер мобильных устройств 3

Технологии

С.Ю. Подлесный, *s.podlesnyy@nikfi.ru*, В.А. Сычёв, *ssytchov@mail.ru*
Анализ качества цифровых видеофильмов 7

Д.Г. Чекалин, *chekalinnikfi@mail.ru*
Особенности восприятия, способы демонстрации и современные технологии воспроизведения объёмных изображений 16

Н.Н. Васильева, *vasnadya@rambler.ru*, Г.И. Рожкова, *gir@iitp.ru*, М.А. Грачёва
Виртуальные стереообразы и ориентация зрительных осей: индивидуальные различия в восприятии величины и позиции 21

Стандартизация

Л.С. Тихонова, *at_kte@mail.ru*
Способ измерения частотно-зависимой амплитудной нелинейности усилителей сигналов звуковой частоты. Часть 1: Предпосылки разработки 27

Мастер-класс, семинары, новости SMPTE, отзывы

И.Г. Дауров, *daurov@mail.ru*
Практика применения визуальных спецэффектов в стереофильмах 31

Страницы истории кино

Н. Майоров, *henrymay@mail.ru*
Короткий век широкого формата 36

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

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

Электронная версия www.elibrary.ru

Подписной индекс Роспечать: № 81923

Научно-технический журнал «Мир Техники Кино»
Выходит 4 раза в год
Издатель: ООО «ИПП «КУНА»
Учредители: Филиал «НИКФИ» АО «ТПО «Киностудия им. М. Горького», ООО «ИПП «КУНА»
Выпуск издания осуществлен при финансовой поддержке: 1. Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям 2. ЧОУ ДПО «Высшая школа киноинженеров».

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

Члены редакции:
Овечкис Ю.Н., д.т.н., Московский Политехнический Университет, РФ
Вишняков Г.Н., проф., д.т.н., ФГУП «ВНИИОФИ», г. Москва, РФ
Тихомирова Г.В., проф., д.т.н., СПбГИКиТ, г. Санкт-Петербург, РФ
Сакварелидзе М.А., д.х.н., ВГИК, г. Москва, РФ
Винокур А.И., д.т.н., Московский Политехнический Университет, РФ
Перегудов А.Ф., к.т.н., ВГТРК, г. Санкт-Петербург, РФ
Березин О.С., «Невафильм», г. Санкт-Петербург, РФ
Барский И.Д., к.т.н., ВГИК, г. Москва, РФ
Одиноков С.Б., д.т.н., МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, РФ
Раев О.Н., к.т.н., ВГИК, г. Москва, РФ
Волков А.С., к.т.н., Министерство культуры РФ

Отпечатано в ООО «ИПП «КУНА»
Объём 5 п.л. Заказ № 144844.
Тираж 1000 экземпляров.

Свидетельство о регистрации
СМИ-ПИ № ФС77-65712 от 13 мая 2016 года.

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

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

ISSN: 1991-3400
World of Technique of Cinema (WTC)
МирКино ТЕХНИКИ

p. 7

p. 16

p. 31

p. 36

2017-4 (11) CONTENT

Reports

G. Greisukh, E. Ezhov, S. Kazin, S. Stepanov
Single-layer diffractive elements for cameras and video cameras of mobile communication devices 3

Technology

S. Podlesnyy, *s.podlesnyy@nikfi.ru*, V. Sytchev, *ssytchov@mail.ru*
Digital videos quality assessment 7

D. Chekalin, *chekalinnikfi@mail.ru*
Features of perception, methods of demonstration and modern technologies of three-dimensional images reproduction 16

N. Vasilyeva, *vasnadya@rambler.ru*, G. Rozhkova, *gir@iitp.ru*, M. Gracheva
Virtual stereo images and orientation of visual axes: individual differences in perception of size and position 21

Standardization

L. Tikhonova, *at_kte@mail.ru*
The method of measuring the frequency-dependent amplitude nonlinearity of the amplifiers of audio signals. Part 1: Background development 27

Master-class

I. Daurov, *daurov@mail.ru*
The practice of applying visual effects in stereoscopic cinema 31

Movie history

N. Maiorov, *henrymay@mail.ru*
A short century of wide format 36

The requirements for the publication of scientific articles in the journal «World of technique of cinema»:

1. Articles (papers) are submitted in electronic format, by mail Kevin@paradiz.ru, volume of no more than 40 000 characters.
2. Pictures must be sent as separate files in JPG or TIF format with a resolution of at least 300 dpi.
3. Articles (papers) should contain (in Russian and in English):
– the name,
– annotation,
– keywords.
4. Authors must conclude a license agreement for publication.
5. Graduate students are not charged for publication.

Electronic version www.elibrary.ru

Subscription index Rospechat: № 81923

Scientific and Technical Journal «World of Technique of Cinema» is published 4 times per year

Publisher by «IPP «CUNA» Ltd.
Founded by «IPP «CUNA» Ltd. and branch «Cinema and photo research institute» JSC «Gorky film studio».

Certificate of Registration Media-PI № FS77-65712
May 13, 2016.

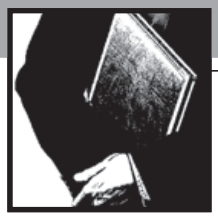
www.mtk-magazine.ru,
e-mail: kevin@paradiz.ru,
tel.(fax): +7 (495)795-0297,795-0299

Chairman Ph.D. Yu.Indlin

Members of the editorial board:
Dst, Y. Ovechkis, Moscow Polytechnic University, RF
Dst, prof. G. Tihomirova, SPbGUCT, Sankt-Petersburg, RF
Dst, prof. G. Vishnyakov, FSUE «VNIIOFI», Moscow, RF
Dst. M. Sakvarelidze, VGIK, Moscow, RF
Dst, prof. A. Vinokur, Moscow Polytechnic University, RF
O. Berezin, Nevafilm, Sankt-Petersburg, RF
Dst, prof. C. Odinokov, Bauman MSTU, Moscow, RF
Ph.D. A. Peregudov, RTR, RF
Ph.D. I. Barsky, VGIK, Moscow, RF
Ph.D. O. Raev, VGIK, Moscow, RF
Ph.D. A. Volkov, Ministry of Culture RF.

No part of this issue may be reproduced without written permission of the publisher,
reference to the journal is obligatory.
World of Technique of Cinema owns the copyrights to all published material, unless otherwise stated.
Statements and opinions expressed in articles or editorials are expressions of contributors and do not necessarily represent the policies or opinions of Board of Editors. Opinion of editorial boards and of reviewers do not always coincides with the point of view of authors of articles.
Advertisments appearing in the publication are the sole responsibility of the advertiser.

Printed in Russia.



ОДНОСЛОЙНЫЕ ДИФРАКЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ для фото- и видеокамер мобильных устройств

(доклад на XIV Международной конференции «ГолоЭкспо», 12–14 сентября 2017, Звенигород, Россия)

Г.И. Грейсух, д.т.н., Е.Г. Ежов, д.ф-м.н., С.В. Казин, к.ф-м.н., С.А. Степанов, д.ф-м.н., Пензенский Государственный Университет архитектуры и строительства, РФ

Аннотация

Скорректированы условия, гарантирующие отсутствие визуально наблюдаемого гало в изображении, формируемом камерой мобильного электронного устройства, объектив которого включает дифракционную линзу с однослойной пилообразной рельефно-фазовой микроструктурой. На примере пластмассово-линзового объектива, предназначенного для смартфона, продемонстрированы целесообразность и эффективность включения в его схему такой дифракционной линзы.

Ключевые слова: дифракционная эффективность, рельефно-фазовая дифракционная микроструктура, гало, дифракционная линза, рефракционно-дифракционный объектив.

SINGLE-LAYER DIFFRACTIVE ELEMENTS FOR CAMERAS AND VIDEO CAMERAS OF MOBILE COMMUNICATION DEVICES

G.I. Greisukh, d.t.s., E.G. Ezhov, d.f-m.s., S.V. Kazin, c.f-m.s., S.A. Stepanov, d.f-m.s., Penza State University of Architecture and Construction, Russia

Abstract

In the report, conditions that guarantee the absence of a visually observed halo in the image formed by the camera of a mobile communication device containing a diffractive lens with a single-layer saw tooth phase microrelief are corrected. The feasibility and effectiveness of using the diffractive lens with a single-layer microstructure, which does not lead to the emergence of a visually observable halo, are demonstrated by the example of a plastic objective lens for the smartphone. It is noted that the payment for a simple technology of forming of the diffractive lens's microstructure may be the need of the digital color correction.

Keywords: Diffraction efficiency, Relief-phase diffraction microstructure, Halo, Diffractive lens, Refractive-diffractive objective.

Введение

Широкие возможности коррекции аберраций и, прежде всего, хроматизма изображающей оптической системы, благодаря включению в схему системы дифракционного оптического элемента, хорошо известны. В частности, элемент, представляющий собой дифракционную линзу

(ДЛ) с небольшой оптической силой, позволяет достичь высокой степени коррекции хроматизма, необходимой для получения высококачественного цветного изображения, даже используя ограниченный набор оптических материалов, например, технологичные и коммерчески доступные оптические пластмассы.

При этом современные технологии массового производства пластмассовых рефракционных линз, одна из сферических или асферических поверхностей которых несёт пилообразную рельефно-фазовую дифракционную микроструктуру (рис. 1), снимают практически все существовавшие ранее ограничения на конструктивные параметры таких гибридных элементов.

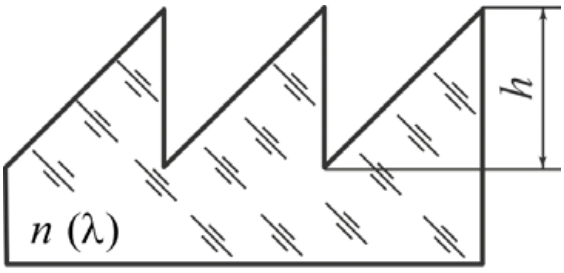


Рис. 1. **Пилообразная однослойная рельефно-фазовая микроструктура (киноформ)**

В результате, практически единственной серьёзной проблемой, сдерживающей широкое использование ДЛ с пилообразной рельефно-фазовой микроструктурой, является значительная вероятность возникновения цветного ореола (гало), сопровождающего наиболее яркие фрагменты изображения, формируемого оптической системой в полихроматическом излучении. Ответственность за гало несёт излучение, дифрагированное на микроструктуре ДЛ в побочные дифракционные порядки. Интегрально их уровень, как правило, оценивается по отличию дифракционной эффективности (ДЭ) в первом рабочем порядке η от единицы.

В результате экспериментальных исследований, выполненных нами ранее с использованием пластмассовой гибридной асферической линзы Plastic Hybrid Aspheric Lens, серийно выпускаемой фирмой Edmund Optics, было установлено, что визуально наблюдаемое гало будет гарантированно отсутствовать, если в пределах используемого спектрального диапазона ($\lambda_{min} \le \lambda \le \lambda_{max}$) характерные точки кривой ДЭ киноформа удовлетворяют условию: $\eta \approx 1$ в одной из точек внутри спектрального диапазона, $\eta \ge 0{,}85$ на одном из его краёв и $\eta \ge 0{,}9$ – на другом.

Выполнить это условие в сколько-нибудь значимом спектральном диапазоне можно только в очень узком интервале углов падения излучения на дифракционный элемент. Это обстоятельство потребовало корректировки условия, гарантирующего отсутствие визуально наблюдаемого гало в изображении, формируемом камерой мобильного электронного устройства, объектив которого включает ДЛ с однослойной пилообразной рельефно-фазовой микроструктурой.

Достоверно оценить ДЭ киноформа можно в рамках скалярной теории дифракции при условии, что отношение минимального периода микроструктуры к глубине рельефа

$$\Lambda_{min}/h > 10. \quad (1)$$

Учитывая, что глубина рельефа киноформа равна

$$h = \lambda/(n(\lambda) - 1) \cong 2\lambda, \quad (2)$$

условие (1) при использовании элемента в качестве корректора аберраций оптической системы практически всегда выполняется.

В рамках скалярной теории ДЭ киноформа в первом рабочем порядке дифракции описывается выражением:

$$\eta = \left\{ \frac{\sin[\pi(1 - \Delta l/\lambda)]}{\pi(1 - \Delta l/\lambda)} \right\}^2 \quad (3)$$

где: $\Delta l = h\left(\sqrt{n^2 - \sin^2\theta} - \cos\theta\right)$ (4)

– приращение оптического пути на одном периоде (на одной кольцевой зоне) пилообразного профиля; Δl, как следует из формулы (4), зависит от показателя преломления материала микроструктуры $n(\lambda)$, от глубины рельефа h и угла падения излучения из воздуха на элемент θ.

Из выражений (3) и (4) нетрудно видеть, что при выбранном оптическом материале и оптимальной глубине рельефа максимальное и минимальное значения ДЭ определяются шириной спектрального диапазона $\lambda_{min} \le \lambda \le \lambda_{max}$ и полуинтервалом углов падения излучения на киноформ $0 \le \theta \le \theta_{max}$.

Сразу же заметим, что под оптимальной глубиной рельефа h_{opt} понимается глубина, обеспечивающая, в частности, $\eta = 1$ в первом рабочем порядке дифракции на одной из длин волн заданного спектрального диапазона.

Полевые углы 2ω, на которые рассчитываются компактные и высокоразрешающие объективы фото- и видеокамер мобильных электронных устройств, обычно не превышают 80°. При этом максимальные углы падения излучения на киноформ удаётся, как правило, ограничить 25°.

Корректировка и достижимость требований к ДЭ киноформа

С учётом вышеизложенного при анализе характеристик ДЭ киноформов, выполненных из технологичных и коммерчески доступных оптических пластмасс, за максимальное значение угла падения излучения на элемент принято $\theta_{max} = 25°$. Кроме того фиксировалась длинноволновая граница заданного спектрального диапазона. За неё принималась длина волны красной С-линии водорода $\lambda_{max} = \lambda_C = 0{,}6563$ мкм.

При выше оговоренных условиях, используя выражения (3) и (4), для типичных кроно- и флинтоподобных технологичных и коммерчески доступных сегодня оптических пластмасс определялись оптимальная глуби-

на рельефа h_{opt} и коротковолновая граница спектрального диапазона λ_{min}, обеспечивающие ДЭ $\eta \geq 0{,}85$ при всех значениях длины волны и угла падения излучения: $\lambda_{min} \leq \lambda \leq \lambda_{max}$ и $0 \leq \theta \leq \theta_{max}$.

Полученные зависимости η от λ для всех значений θ представляют собой гладкие выпуклые кривые, достигающие максимума $\eta=1$ на длине волны λ_m.

Табл. 1. **Наиболее значимые параметры кривых ДЭ**

Марка пластмассы	λ_{min}, мкм	θ,°	λ_m, мкм	h_{opt}, мкм	η на длине волны	
					λ_{min}	λ_{max}
PMMA	0,4575	0	0,5184	1,047	0,933	0,851
		19	0,5368		0,890	0,886
		25	0,5507		0,851	0,910
E48R	0,4570	0	0,5187	0,969	0,931	0,851
		19	0,5365		0,889	0,885
		25	0,5499		0,851	0,909
PC	0,4640	0	0,5237	0,883	0,929	0,851
		19	0,5400		0,887	0,884
		25	0,5524		0,851	0,907

Таблица 1 показывает, что от оптического материала с дисперсионными характеристиками, подобными лёгкому крону [polymethylmethacrylate (PMMA)], крону [Zeonex cyclo-olefin polymer (E48R)] или флинту [polycarbonate (PC)], прежде всего, зависят ширина спектрального диапазона и оптимальная глубина рельефа. При этом все материалы на краях выбранного интервала углов падения излучения ($0 \leq \theta \leq 25°$) обеспечивают оговоренные во введении условия гарантированного отсутствия гало в изображении, регистрируемом матричным фотоприёмником. В то же время внутри интервала имеются углы, при которых $0{,}85<\eta<0{,}9$ одновременно на обоих краях выбранного спектрального диапазона, причём

$$[\eta(\lambda_{min})+\eta(\lambda_{max})]/2 \geq 0{,}88. \qquad (5)$$

Чтобы оценить степень гарантированности отсутствия гало на этих углах, обратимся к типичным кривым спектральной чувствительности матричного RGB фотоприёмника (рис. 2).

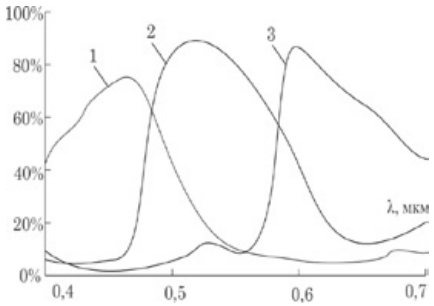


Рис. 2. **Типичные кривые спектральной чувствительности элементов CMOS-фотоприёмника, реагирующих на синий (1), зелёный (2) и красный (3) свет**

Рисунок 2 показывает, что кривые спектральной чувствительности к видимому излучению CMOS-фотоприёмника имеют приблизительную симметрию относительно вертикали, соответствующей длине волны $\lambda \approx 0{,}525$ мкм (в частности, чувствительность матрицы на длинах волн 0,4570 мкм и 0,6563 мкм отличается незначительно). При этом коротковолновая и длинноволновая части спектра регистрируются фактически двумя независимыми каналами фотоприёмника.

Пусть благодаря полосовому светофильтру на фотоприёмник попадает излучение только с длинами волн, удовлетворяющими условию $\lambda_{min} \leq \lambda \leq \lambda_{max}$, тогда с учётом симметрии кривых спектральной чувствительности и независимости каналов можно с уверенностью полагать, что реакция матрицы на пропускаемое излучение с коротковолновой и длинноволновой сторон рабочего спектра будет подобной. И если при этом благодаря ДЭ, заключённой в интервале $0{,}85 \leq \eta \leq 0{,}9$, визуально наблюдаемое гало гарантированно отсутствует в пределах спектрального диапазона $\lambda_{min} \leq \lambda \leq \lambda_m$, то оно столь же гарантированно будет отсутствовать и в спектральном диапазоне $\lambda_{min} \leq \lambda \leq \lambda_{max}$. Поэтому в скорректированном виде условия гарантированного отсутствия визуально наблюдаемого гало в изображении, формируемом оптической системой с однослойной пилообразной микроструктурой и сопряжённой с RGB светочувствительной матрицей, должны иметь следующий вид. Кривые зависимости ДЭ киноформа от длины волны во всём полуинтервале углов падения излучения на элемент ($0 \leq \theta \leq \theta_{max}$) должны быть гладкими и выпуклыми, а их характерные параметры в пределах всего используемого спектрального диапазона ($\lambda_{min} \leq \lambda \leq \lambda_{max}$) удовлетворять условию: $\eta \approx 1$ на одной из длин волн внутри спектрального диапазона и $\eta \geq 0{,}85$ на его краях. Сразу же подчеркнём, что отказ от более жёсткого требования, допускающего падение ДЭ до уровня $\eta \geq 0{,}85$ только в одной из точек внутри рабочих углового и спектрального диапазонов, позволяет значительно расширить эти диапазоны.

В качестве примера объектива, у которого достигнуто высокое качество формируемого изображения и одновременно соблюдены условия, обеспечивающие отсутствие гало, можно привести компактный пластмассово-линзовый рефракционно-дифракционный объектив, предназначенный для фото- и видеокамеры смартфона.

Рефракционно-дифракционный объектив смартфона

Все РЛ этого объектива выполнены только из одного наиболее технологичного и коммерчески доступного кроноподобного пластика – E48R, а коррекцию хроматизма обеспечивает киноформ. Оптические и габаритные характеристики объектива представлены в табл. 2.

Благодаря расположению киноформа на задней поверхности третьей РЛ удалось обеспечить сравнительно низкие ($\theta<25°$) углы падения лучей из воздуха на ДЛ, что является одним из условий достижения высокой ДЭ и отсутствия гало. Вторым из условий отсутствия гало является ограничение спектрального диапазона излучения, падаю-

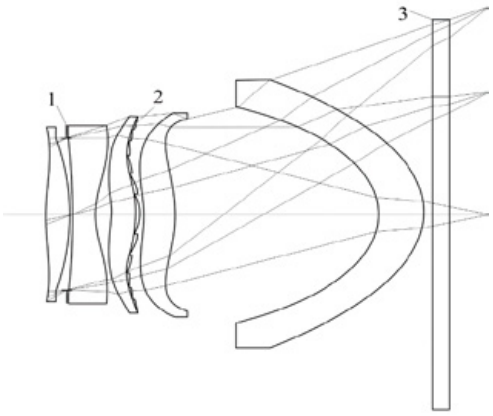


Рис. 3. **Принципиальная схема рефракционно-дифракционного объектива смартфона: 1 – апертурная диафрагма; 2 – поверхность РЛ, на которой сформирован киноформ; 3 – полосовой фильтр, отсекающий коротковолновое и ИК-излучение**

Табл. 2. **Оптические и габаритные характеристики объектива**

Спектральный диапазон, мкм	0,457–0,6563
Фокусное расстояние f ′, мм	4,63
Диафрагменное число F#	2,2
Угловое поле в пространстве 2ω,°	64
Формат матричного фотоприёмника	1/3′′ (диагональ 2y′= 6 мм)
Суммарная длина объектива (расстояние от вершины фронтальной поверхности первой линзы до плоскости изображения, формируемого объективом) L, мм	5,5
Дисторсия,%	<1
Углы падения лучей из воздуха на микроструктуру θ,°	<25
Полихроматическое разрешение по всему полю (лин/мм): • при контрасте 0,5 • при контрасте 0,2	 >100 >200

щего на фотоприёмник. Это осуществляется с помощью полосового фильтра, обрезающего излучение с длинами волн λ<0,457 мкм, а также ИК-излучение. В результате все условия, обеспечивающие высокое качество изображения и отсутствие гало, оказались выполненными.

В заключение отметим, что использование полосового фильтра окажет на формируемое на матричном фотоприёмнике изображение примерно то же влияние, что и обычно применяемый при фотосъёмке жёлтый светофильтр ЖС-12. Возникающий в этом случае желтоватый оттенок изображения при желании может быть устранён цифровой коррекцией с помощью инструмента «Баланс белого» в любом растровом редакторе, например, Adobe Photoshop.

Рис. 4. **Пример цифровой коррекции изображения, сформированного фотокамерой при установке перед объективом жёлтого светофильтра ЖС-12: 1 - со светофильтром; 2 – без светофильтра; 3 – исправленный баланс белого в редакторе**

Кроме того, в программном обеспечении камеры мобильного устройства возможно предусмотреть автоматический сдвиг баланса белого на заранее заданную величину. Очевидно, что цифровая коррекция цвета может рассматриваться как плата за простейшую технологию штамповки ДЛ. ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. *Flores A.* Achromatic hybrid refractive–diffractive lens with extended depth of focus / A. Flores, M. R. Wang, J. J. Yang // Applied Optics. – 2004. – Vol. 43. – № 30. – P. 5618-5630.
2. *Greisukh G. I.* Diffractive-refractive hybrid corrector for achro- and apochromatic corrections of optical systems / G. I. Greisukh, E. G. Ezhov, S. A. Stepanov // Applied Optics. – 2006. – Vol. 45– № 24. – P. 6137-6141.
3. *Greisukh G. I.* Design of achromatic and apochromatic plastic microobjectives / G. I. Greisukh, E. G. Ezhov, I. A. Levin, S. A. Stepanov // Applied Optics. – 2010. – Vol. 49. – № 23. – P. 4379-4384.
4. *Greisukh G. I.* Design of plastic diffractive–refractive compact zoom lenses for visible–near-IR spectrum / G. I. Greisukh, E. G. Ezhov, Z. A. Sidyakina, S. A. Stepanov // Applied Optics. – 2013. – Vol. 52– №23. – P. 5843-5850.
5. *Greisukh G. I.* Comparison of electromagnetic and scalar methods for evaluation of efficiency of diffractive lenses for wide spectral bandwidth / G. I. Greisukh, V. A. Danilov, E. G. Ezhov, S. A. Stepanov, B. A. Usievich // Optics Communication. – 2015. – Vol. 338. – P. 54-57.
6. *Buralli D. A.* Optical performance of holographic kinoforms / D. A. Buralli, G. M. Morris, J. R. Rogers // Applied Optics. – 1989. – Vol. 28.– № 5. – P. 976-983.
7. Sony IMX234-0APH5-C / URL: http://www.datasheets360.com/pdf/7800169355262593265
8. *Грейсух Г. И.* Влияние побочных дифракционных порядков на качество изображения, формируемого рефракционно-дифракционной цифровой фотокамерой / Г. И. Грейсух, Е. Г. Ежов, С. В. Казин, С. А. Степанов // Оптический журнал. – 2016. – Т. 83– № 3. – С. 27-31.
9. *Грейсух Г. И.* Однослойные киноформные элементы для фото- и видеокамер мобильных устройств / Г. И. Грейсух, Е. Г. Ежов, С. В. Казин, С. А. Степанов // Компьютерная оптика. – 2017. – Т. 41. – № 2. – С. 218-226.
10. *Dutta U.* Monochromatic primary aberrations of a diffractive lens on a finite substrate / U. Dutta, L. Hazra // Applied Optics. – 2010. – Vol. 49. – №18. – P. 3613-3621.

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА цифровых видеофильмов

С.Ю. Подлесный, s.podlesnyy@nikfi.ru, В.А. Сычёв, к.т.н., ssytchov@mail.ru,
филиал «Научно-исследовательский кинофотоинститут»
АО «ТПО «Киностудия им. М. Горького», РФ

Аннотация

Проведено исследование параметров технического качества цифровых фильмовых материалов (ЦФМ) при предоставлении обязательных экземпляров аудиовизуальной продукции в фильмофонды и учреждения Росархива, а также при выдаче ЦФМ из архивов или киностудий сторонним заказчикам. Разработаны алгоритмы контроля объективных параметров технического качества аудиовизуальной продукции и контроля дефектов постпроизводства. В результате работы создана альфа-версия программного обеспечения для автоматического контроля качества ЦФМ; разработан первоочередной перечень технических параметров и способов их контроля для ЦФМ, предоставляемых для архивного хранения.

Основные технико-эксплуатационные показатели: обеспечен контроль метаданных предоставленного видеофайла; обеспечен контроль наличия технических планов (сигналы ГЦП и чёрного поля); обеспечен контроль динамического диапазона видеосигнала на физическую реализуемость; обеспечена идентификация брака производства, оцифровки и постобработки ЦФМ.

Ключевые слова: киноархив, видеоархив, контроль качества, обязательный экземпляр, параметры, дефекты, искажения изображения, киновидеофильмы, цифровые фильмовые материалы, нормативная база, технологический процесс, входной контроль, цветовые координаты.

Данная работа профинансирована Министерством культуры Российской Федерации в рамках государственного контракта № 894-011-41/06-17 от 03 мая 2017 г.

DIGITAL VIDEOS QUALITY ASSESSMENT

S. Podlesnyy, s.podlesnyy@nikfi.ru, V. Sytchev, ssytchov@mail.ru, Ph.D, branch «Cinema and Photo Research Institute» JSC «Gorky Film Studio», Russia

Abstract

This research proposes minimal pragmatical set of blind video quality assessment methods for archiving purposes. It is shown that impartial image parameters to check comprise black and white levels and color gamut levels. Methods for production and/or digitizing defects control are proposed for archiving applications including fast algorithms for blurriness assessment, temporal outliers (spots, scratches) and line repetition detection. Deep learning - based methods for digital artifacts detection and low-bitrate inclusions are developed to check for post-production defects and possibly pirated or low-quality fragments incorporation in archived video film.

Keywords: cinema archives, video archives, quality assessment, image parameters, image defects, image distortions.

This work was funded by Ministry of culture of Russian Federation contract № 894-011-41/06-17 dated 03.05.2017.

■ *Введение*

Задача оценки технического качества фильмовых материалов всегда представляла значительные трудности для работников технического контроля всех уровней: на киностудиях и телевизионных центрах при выпуске продукции, в фильмофондах и в архивах кинодокументов при приёмке материалов на хранение и при выдаче документов на получение прокатного удостоверения. Основные сложности заключались в отделении производственного брака технологических процессов съём-

ки, печати или химико-фотографической обработки от особенностей режиссёрского и операторского решения той или иной сцены фильма, а также от неизбежных дефектов, вносимых киноплёнкой. За многие годы в кино и телевидении были выработаны правила, определяющие порядок сдачи и приёмки фильмов.

В течение последнего десятилетия и в кино, и в телевидении произошёл практически полный переход к цифровым технологиям. Кроме этого к ним добавились мультимедийные средства передачи и демонстрации контента. Каждый шаг технологического развития (появление новых средств съёмки, передачи и отображения информации, новых кодеков и форматов) приводил к преодолению недостатков техники и технологии предыдущего поколения, но при этом появлялись новые артефакты, обычно более сложные и трудно диагностируемые.

Дополнительная сложность диагностики цифровых дефектов заключается в том, что технический прогресс идёт быстрее смены оборудования и технологий на предприятиях кинематографа и телевидения. В результате в производственном процессе применяются почти все кодеки и форматы, разработанные с начала цифровой эры, со всеми присущими им особенностями и недостатками. Если добавить к этому, что специалисты, работавшие с киноплёнкой и аналоговым видео, не имеют навыков работы с цифровыми материалами, становится понятна проблема, стоящая перед работниками технического контроля.

Особенно остро проблема входного контроля стоит в фильмофондах и учреждениях Росархива, принимающих на хранение обязательные экземпляры киновидеофильмов. Она решается в настоящее время путём выборочного просмотра материалов техническими экспертами. В результате срок приёмки материалов может достигать нескольких месяцев из-за высокой нагрузки на персонал.

При предоставлении обязательных экземпляров в цифровой форме возникает дополнительная задача контроля правильности формата записи и используемых кодеков, контроля возможности воспроизведения цифровой записи на реальных устройствах отображения (динамические диапазоны, пропускная способность видеопотока) и контроля специфических видов цифровых помех и искажений (срыв кодирования, блочность изображения и т.п.). Подобная задача возникает и при выдаче кино- и видеоматериалов из архивов или киностудий сторонним заказчикам.

Для автоматического контроля качества видеоматериалов существуют дорогостоящие программные продукты иностранного производства, например, VidCheck. Учитывая количество территориальных подразделений Росархива, фильмофондов и потенциальный рынок частных потребителей (телестудии, продюсерские центры), перспективным представляется импортозамещение данного класса ПО.

Для оценки визуального качества цифровых видеоматериалов составлены атласы типичных дефектов. В обширном справочном издании [1] приведён подробный каталог аналоговых артефактов. В работе [2] представлена база данных типичных цифровых артефактов аудиовизуального контента (АВК). Несмотря на то, что эта база данных предназначена, в первую очередь, для выработки количественных метрик отличия искажённых изображений от эталонного (референсного) изображения, авторы ввели важный показатель средней оценки пользовательского восприятия (mean opinion score). Этот показатель претендует на роль унифицированной метрики качества изображения, основанной на знаниях о зрительном восприятии человека.

Однако при оценке технического качества АВК при архивном хранении отсутствует доступ к референсному материалу. Поэтому решаемая задача относится к категории слепой оценки качества изображений (blind image quality assessment). Существует подход слепой оценки качества изображений, при котором пытаются предсказать оценку пользовательского восприятия с помощью модели, построенной на основе субъективных оценок, данных пользователями тренировочной выборке искажённых изображений. Известны алгоритмы такого рода DIIVINE [3], CBIQ [4], LBIQ [5], BLIINDS [6], BRISQUE [7]. Недостатком таких моделей являются трудности в сборе достаточного объёма статистики и априорная ориентация на известные и моделируемые типы искажений.

Известен подход [8] слепой оценки качества изображений на основе анализа отклонений от статистических закономерностей, свойственных естественным изображениям. Уровень качества выражают в форме расстояния между многомерным распределением Гаусса (МРГ), аппроксимирующим статистику пространственных признаков изображения, с МРГ, аппроксимирующим статистику признаков большого корпуса естественных изображений. Методы слепой оценки качества изображений основаны на извлечении тех или иных статистических признаков в пространственной или частотной области. В последнее время наилучшие результаты в области извлечения пространственных признаков показывают многослойные нейронные сети. Например, в работе [8] предложен метод слепой оценки нечёткости изображения с помощью ограниченной машины Больцмана, моделируемой многослойным персептроном.

В данной работе экспериментально проверены актуальные вычислительные модели, предложенные в публикациях 2014–2016 гг. – свёрточные нейронные сети [9–10]. В то же время, для ряда задач использованы традиционные методы анализа сигналов яркости и цветности, основанные на статистических закономерностях локальных признаков изображения (градиентов яркости). Часть из них показала хороший результат и может быть рекомендована к внедрению.

Анализ цифровых изображений

Ниже приведены технические характеристики цифровых фильмовых материалов, контролируемые разработанным программным обеспечением.

1. Форматные параметры видеофонограммы

Форматными будем называть параметры записи изображения и звука, а именно:

- частота кадров, размер кадра, битрейт, глубина цвета, формат цвета, пропорции пикселя, порядок развёртки, видеокодек (уровень, профиль), пропорции кадра;
- аудиокодек, количество дорожек, длительность звукового сопровождения, частота дискретизации, разрядность, битрейт звукового сопровождения.

Для определения фактического значения форматных параметров видеофонограммы используется утилита ffprobe (https://ffmpeg.org/ffprobe.html), являющаяся свободным программным обеспечением (СПО).

Для целей организации входного контроля технического качества ЦФМ рекомендуется контролировать соответствие указанных параметров сопроводительным документам.

2. Наличие, порядок и длительность видеосигналов ГЦП и СЧП

Одним из средств контроля тракта передачи изображения аналогового вещательного телевидения является ГЦП – сигнал цветных полос [11], включаемый первым планом во все аналоговые видеофильмы. Цифровые фильмы, полученные в результате оцифровки аналоговых, также содержат сигнал ГЦП. На практике форма, уровни и геометрическое расположение цветных полос в поле кадра часто имеют значительные отклонения. Возможно также перекрытие части изображения ГЦП посторонними объектами (например, логотипом). Это обусловливает определённые проблемы идентификации. Для их решения был разработан алгоритм устойчивой идентификации сигнала ГЦП [12], включённый в ПО.

Другим сигналом, часто содержащимся в цифровых фильмах (полученных конвертацией из аналоговых), является сигнал чёрного поля (СЧП). Он используется в качестве референсного сигнала для синхронизации с видеоаппаратурой и следует обычно за сигналом ГЦП. Нередки также случаи появления пустых (чёрных) полей в виде отдельных кадров брака в основном видеоряде. Разработанное программное обеспечение регистрирует наличие чёрных полей в обоих случаях.

3. *Контроль уровня сигнала*

3.1. Уровень чёрного, уровень белого

Основными документами, определяющими цветовое кодирование цифровых сигналов, являются Рекомендации МСЭ-R [14-16]. Эти документы описывают преобразование линейных относительно яркости цветоделённых сигналов RGB в цифровые цветоразностные сигналы и сигнал яркости YCrCb.

Для сигнала яркости Y установлен рабочий диапазон

$$16*2^{n-8} \div 235*2^{n-8}, \quad (1)$$

где «n» обозначает количество битов квантованного сигнала (8-10-12). Так, при восьмибитном кодировании границы диапазона сигнала яркости равны: 16 для уровня чёрного и 235 для уровня белого.

Для цветоразностных сигналов Cr и Cb рабочий диапазон составляет

$$16*2^{n-8} \div 240*2^{n-8}, \quad (2)$$

т.е. границы рабочего диапазона равны 16 и 240 при восьмибитном кодировании.

Таким образом, выражения (1) и (2) определяют допустимый диапазон сигнала яркости и двух цветоразностных сигналов. Выход за границы диапазона приводит при переходе к цветовому пространству устройства отображения к появлению невоспроизводимых значений: отрицательных для значений, меньше 16 и превышающих максимум для значений, больше 235/240. Как показало исследование, в видеофильмах этот недостаток встречается довольно часто. Для его устранения сигнал в тракте воспроизведения обрезается до номинальных значений. В отсутствие референсного изображения эта операция визуально практически не диагностируема. Тем не менее, регистрация отклонений от допустимого диапазона важна при контроле качества фильма поскольку, во-первых, детали изображения, подвергающиеся подобному «клипированию», теряют градации, и, во-вторых, наличие отклонений указывает на технологические нарушения в процессе фильмопроизводства.

Типичная картина наличия пикселей с уровнями, ниже уровня чёрного и выше уровня белого, приведена на рисунке 1.

Рис. 1. **Иллюстрация наличия пикселей, выходящих за границы вещательного диапазона. Слева – кадр видеофильма, справа – то же изображение, на котором жёлтым выделены пиксели, выходящие за границы вещательного диапазона («Марк Тайманов. Я вспоминаю», ЦСДФ. Изображения получены с помощью инструмента QCToolsV 08)**

3.2. Допустимые значения цветности и цветовой гаммы

В пункте 2.5.5 Рекомендаций МСЭ-Р BT.601-7 признаётся возможность нарушения цветопередачи при цветовом кодировании: «Цифровое кодирование сигналов в форме Y, CR, CB может представить существенно более широкую гамму значений сигнала, чем та, которая может поддерживаться в соответствующих диапазонах сигналов R,G,B. Поэтому, существует вероятность

получения в результате создания электронного изображения или обработки сигнала такие сигналы Y,CR,CB, которые, несмотря на пригодность каждого из них по отдельности, могут, при преобразовании к R,G,B, привести к получению значений, лежащих вне допустимых пределов».

Для проверки наличия подобных нарушений необходимо преобразовать изображение из цветового пространства YCrCb в цветовое пространство RGB и проверить физическую реализуемость полученных цветовых координат (например, соответствие диапазону [0–1] для нормализованного сигнала).

Пример выхода деталей изображения, кодированного в YCrCb, за пределы реализуемости в пространстве RGB приведён на рис. 2:

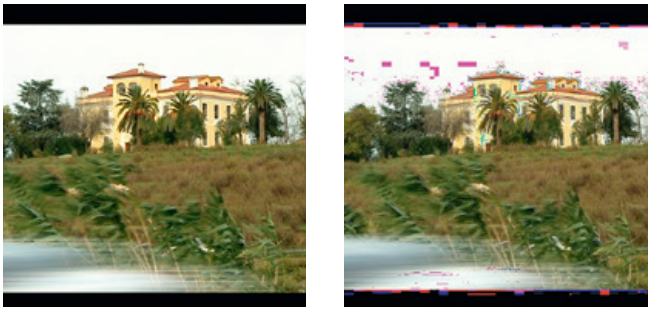


Рис. 2. **Преобразование изображения, кодированного в YCrCb (слева), в цветовое пространство RGB без клипирования (справа)**

Преобразование YCrCb→RGB должно быть обратным преобразованию RGB→YCrCb, выполняемому при производстве фильма и определяемому Рекомендациями МСЭ-Р BT.601, 709, 2020 для SDTV, HDTV, UHDTV, соответственно. Коэффициенты преобразования в каждом из трёх случаев различны и приведены в отчёте [12].

4. *Контроль дефектов производства и оцифровки*

4.1. Обнаружение нерезких кадров

Многие алгоритмы оценки резкости изображений основаны на анализе гистограммы локальных градиентов. Основными элементами этих алгоритмов являются: вычисление градиентов, как модулей разности соседних пикселей, и построение гистограммы в логарифмическом масштабе. Получаемый график позволяет наглядно сравнивать различающиеся по резкости изображения. Однако для целей автоматического определения резкости алгоритм обладает двумя существенными недостатками. Во-первых, отсутствует «мера нерезкости», т.е. параметр распределения, характеризующий наличие и количество резких деталей в изображении. Во-вторых, колоколообразная форма гистограммы сложна для аппроксимации аналитической функцией, параметры которой могли бы служить в качестве такой меры.

Для устранения указанных недостатков в работе предложен следующий алгоритм:

а) Цветовые координаты и градиенты определяются как n-битные целые числа без знака, где n – глубина квантования цветовых координат. Диапазон возможных градиентов приводится к диапазону [0,1]. Для этого отрицательная часть гистограммы g(x) смещается вправо к оси x=1:

$$g'(x) = g(x) + \tfrac{1}{2}(\mathrm{Sign}(g(x)) - 1) \qquad (3)$$

где Sign(x) – функция знака

$$Sign(x) = \begin{cases} -1, x < 0 \\ 1, x \geq 0 \end{cases} \qquad (4)$$

Примеры таких гистограмм приведены на рис. 3.

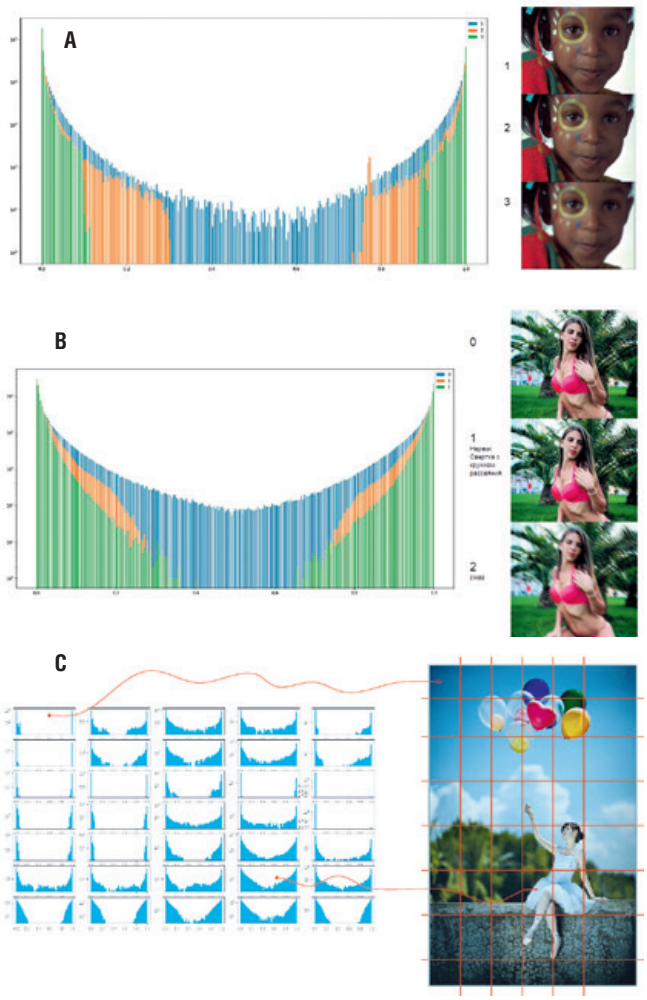


Рис. 3. **Гистограммы локальных градиентов со смещением отрицательных значений к оси x=1: A) размытие Гаусс; B) размытие средствами Фотошопа: свёртка с кружком рассеяния и смаз; C) анализ изображения по частям**

б) Аппроксимируем гистограмму g(x) параболой y(x) с вершиной в точке x=½, используя метод наименьших квадратов. Находим параметры параболы, минимизирующие функцию

$$F=\sum(y(x)-g(x))^2 \qquad (5)$$

с) Отрицательные значения ординаты вершины параболы указывают на нерезкость кадра.

4.2. Определение смены плана, обнаружение колебаний яркости и/или цветности внутри плана и выбросов

Колебания яркости и/или цветности внутри плана характеризуются согласованным изменением цветовых координат всех пикселей от кадра к кадру и вызываются в основном плёночным оригиналом, с которого получен цифровой видеофильм.

Выбросами будем называть случайные отклонения цветовых координат, не связанные с сюжетным изображением. Причины появления выбросов зависят от технологии производства видеофильма. При сканировании фильма с плёночного фильмового материала выбросы связаны с фотографическим качеством оригинала: наличием пятен, царапин и прочих дефектов изображения на киноплёнке, а также низким качеством устройств, использовавшихся несколько десятилетий назад для перевода фильмов с киноплёнки на магнитную ленту (Рис. 4а, б). Значительное количество выбросов связано с видеозаписью на магнитную ленту. Многие архивные видеоматериалы имеют такие дефекты, как нарушение синхронизации, потеря цвета на цветном изображении и цветные пятна и полосы на чёрно-белом, повторы строк и др., обусловленные проблемами магнитной видеозаписи и хранения (Рис. 4в, г).

- Резкая смена плана; на (i–1)-м кадре заканчивается предыдущий план, с i-го кадра начинается следующий план.
- Плавная смена плана – затемнения, наплывы и др.
- Движение всего изображения в кадре – поворот камеры, зум, съёмка из машины и проч.
- Движение объектов на неподвижном фоне.
- Выбросы, шум и другие стохастические дефекты.

Задача, решаемая алгоритмом [12], состоит в том, чтобы отделить выбросы от сюжетно обусловленных изменений в кадре.

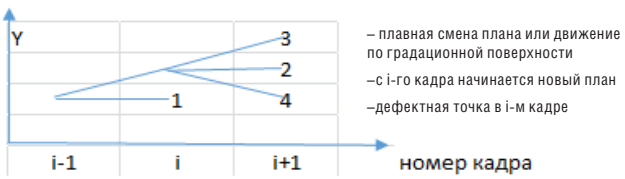
При входном контроле оцифрованных кинодокументов необходимо определить качество реставрации киноплёнки перед оцифровкой. Одним из важных показателей является количество пятен (повреждений фотоэмульсии). Для оценки количества и размера пятен разработан следующий алгоритм:

1. Маскирование областей кадра, в которых сильное движение.
2. Морфологическое размытие маски областей движения.
3. Обнаружение выбросов [12].
4. Кластеризация пикселей, в которых зарегистрированы выбросы, по методу DBSCAN [19] с использованием метрики Манхеттенского расстояния, для выявления компактных групп пикселей.
5. Сортировка полученных кластеров по размеру (в пикселях) и оценка допустимости размера.

Рис. 4. **Типичные примеры дефектов видеофильмов, обусловленные плёночным оригиналом (а, б) и магнитной видеозаписью (в, г)**

Общей особенностью подобных дефектов, объединяющей их в понятие «выбросы», является стохастический характер их появления в фильме и их расположения в кадре. Эта их особенность использована в разработанном алгоритме определения выбросов, основанного на нахождении точек, цветовые координаты которых выпадают из последовательности предыдущих и последующих кадров.

Условно основные логические блоки алгоритма можно представить в виде следующей схемы:



Основные причины различия цветовых координат точек изображения в соседних кадрах:

4.3 Алгоритм обнаружения полос брака

Распространённым артефактом магнитной записи являются горизонтальные полосы брака, появляющиеся в различных местах изображения (Рис. 5). Полосы обычно встречаются в отдельных кадрах и крайне редко в последовательности кадров. В последнем случае их вид в соседних кадрах не повторяется. Эта особен-

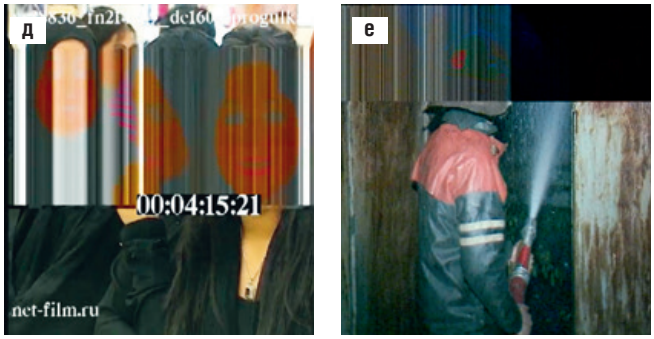


Рис. 5. **Примеры полос брака из реальных видеофильмов**

ность полос используется в предложенном в работе алгоритме [12].

5. Контроль наличия артефактов цифровой обработки

В работе проведён анализ артефактов изображения, которые субъективно могут быть отнесены к дефектам производства или постпроизводства. Были выбраны наиболее типичные артефакты цифровой обработки.

Исходными данными для разработки алгоритма явилась база изображений для сравнения метрик оценки визуального качества изображений [17]. База содержит 24 цифровых фотоснимка с неограниченными правами использования; причём для каждого из фотоснимков выполнены контролируемые искажения разной степени воздействия (степень воздействия от 1 до 4).

Тестовая выборка формировалась из фотоснимков с номерами 15 и 20. Тренировочная выборка – из оставшихся 22 фотоснимков. Таким образом, тестовые и тренировочные наборы данных сформированы из различных изображений для объективности контроля точности работы алгоритма классификации.

Общее количество образцов в тренировочной выборке составило 3147180, в тестовой – 414060.

5.1. Структура и обучение классификатора

В качестве классификатора использована свёрточная нейронная сеть (СНС), предложенная в [9]. Задача обучения – классификация фрагментов цветных изображений 32x32 на 7 классов, описанных в таблице видов искажений (Табл. 1). Для реализации нейросетевой модели использовалась библиотека caffe [20]. СНС обучалась по методу стохастического градиента с размером подвыборки 128 в течение 55000 итераций. Начальная скорость обучения 0,01.

Достигнутая точность классификации на тестовой выборке составила 92%.

5.2. Анализ результатов

Разработанное программное обеспечение проходило отработку и обучение на базе данных фотографических снимков, содержащих широкий спектр как сюжетов, так и артефактов и глубины их воздействия на изображение [17]. Контрольные испытания показали высокую точность классификации артефактов на фотографических снимках (точность на тестовой выборке 92%). Однако при анализе кино- и видеоизображений ПО фиксировало брак в значительном количестве кадров, не являющихся бракованными с точки зрения нормального видеопросмотра. Главным образом это связано с существенно меньшей резкостью видеоизображений по сравнению с фотографическими, а также с другими особенностями динамических изображений.

Поэтому пока разработанный классификатор может быть рекомендован только для анализа фотодокументов. Для его применения при анализе кино- и видеоматериалов требуется дополнительная исследовательская работа.

6. Контроль наличия брака компрессии видеопотока

В данной работе исследовался вопрос контроля технических параметров качества видеофайлов при их приёмке на архивное хранение. При таком варианте использования видеофайлов не предъявляется ограничений на значение битрейта в каждый конкретный момент времени, и нет жёстких требований к общему объёму файла. Однако обоснованным требованием является обеспечение наилучшего возможного визуального качества при наименьшем возможном размере файла.

Браком предоставленного видеоматериала при описанном сценарии использования может считаться излишняя компрессия, что проявляется в появлении в изображении помех блочной структуры. Вторым сценарием

Табл. 1. **Виды искажений**

Код вида искажений по [2]	Наименование	Код классификации в рамках данной работы
нет	Неискажённое изображение	0
04	Шумы маскирования (Masked noise)	1
07	Шумы квантования или ложные контуры (Quantization noise, contouring, banding, posterization)	2
09	Артефакты шумоподавления (Image denoising)	3
10	Артефакты сжатия JPEG (JPEG compression)	4
11	Артефакты сжатия JPEG2000 (JPEG2000 compression)	5
13	Артефакты передачи JPEG2000 (JPEG2000 transmission errors)	6

появления дефектов такого рода является использование при производстве фрагментов изначально низкого качества, часто нелицензионных или бракованных. Тогда даже при задании достаточно высокого уровня битрейта (табл. 2) при финальном кодировании видеоматериала, фрагменты низкого качества визуально будут отличаться от остального материала.

В рамках данной работы рассмотрен стандарт сжатия MPEG-4 Part 10 (H.264). Этот стандарт предназначен для достижения высокой степени сжатия видеопотока при сохранении высокого качества, что позволяет рекомендовать его для целей архивного хранения ЦФМ. Так, для видеопотока с размером кадра 1920x1080 рекомендуемое значение битрейта при кодировании по стандарту H.264 составляет 4,8–5,3 Мб/с, в то время как при кодировании по стандарту MPEG-2, применяемому в DVD, битрейт устанавливают на уровне 10,0–3,0 Мб/с.

6.1. Предмет контроля

Для целей архивного хранения рекомендуется использовать режим кодирования с постоянным фактором качества CRF, который задаёт коэффициент допустимых потерь в пикселах для макроблока. Таким образом, достигается постоянство уровня визуально воспринимаемого качества за счёт вариации фактора квантования. Это приводит к вариативности битрейта в зависимости от скоростей движения в кадре, но в целом позволяет добиться оптимального кодирования.

В целом показатель скорости передачи потока битрейт коррелирует с воспринимаемым качеством изображения и размером кадра. Табл. 2 представляет показатели битрейта, выбранные ведущими поставщиками аудиовизуального контента США. Таблица составлена по данным интернет-сайтов поставщиков AVK.

Табл. 2. **Минимальные значения битрейта, рекомендуемые ведущими поставщиками аудиовизуального контента США**

Провайдер AVK	Битрейт видео (килобит/с)			
	360p	480p	720p	1080p
BBC	800	1500	3200	
ESPN	1400	2000	2800	
Hulu	700	1000	2500 3200	
iTunes		1500	4000	5000
Netflix	560	1050 1750	2350 3600	4800
Vimeo	800		2000	4500
YouTube	500	1000	2000	3500

Таблица 2 может служить основанием для выработки регламента контроля технических параметров цифрового видеофильма при сжатии по стандарту MPEG-4 Part 10 (H.264). Аналогичным образом можно предложить регламентные значения битрейта для других вариантов сжатия. Величину битрейта несложно контролировать путём чтения метаданных видеофайла.

Однако, при использовании при производстве фильма фрагментов изначально низкого качества, полученных из источников с низким битрейтом, воспринимаемое качество изображения может не соответствовать заявленному в метаданных. Поэтому необходим технический метод контроля качества, классифицирующий видеокадры на приемлемые и неприемлемые с точки зрения артефактов компрессии.

На рис. 6 представлены фрагменты кадров из видеофильма, подвергнутого сильной компрессии по стандарту H.264 (показатель CRF=50). Блочная структура имеет основной шаг 16 пикселей, и дополнительно может разбиваться на прямоугольные элементы по ½ и ¼ основного размера.

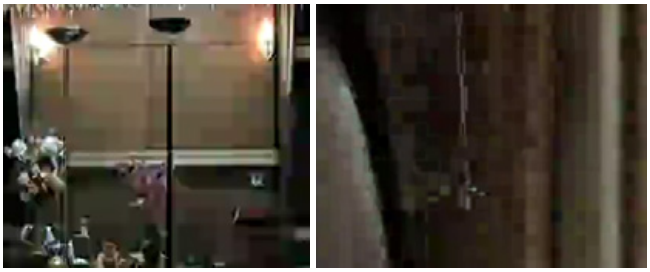


Рис. 6. **Артефакты компрессии H.264**

6.2. Алгоритм контроля визуального качества потока H.264

6.2.1. Подготовка исходных данных

Исходными данными для разработки алгоритма явились фильмы высокого качества записи и/или оцифровки:

а) Кинообозрение «Советский воин», №1, 1989, ЦСДФ. Формат кадра 1920x1080, видео h264 (High) 11999 кб/с, 25 к/с.

б) «Рассвет/Закат Далай Лама XIV». Студия Вертов – Реальное кино, 2009. Режиссёр Виталий Манский. DVD-9 формат кадра 720x576, видео mpeg2 9282 кб/с, 25 к/с.

в) «Гуляй, Вася!». Инвада Фильм, 2016. Режиссёр Роман Каримов. Формат кадра 1920x1080, видео h264 (High) 13635 кб/с, 24 к/с.

Для подготовки образцов неискажённых изображений из указанных фильмов были извлечены декодированные кадры с шагом в 10 секунд. Из каждого кадра выбраны трёхканальные цветные фрагменты размером 64x64 пикселя с шагом выборки 51 пиксел. Фрагментам неискажённых изображений присвоена категория “0”.

Для подготовки образцов изображений низкого воспринимаемого качества указанные фильмы были перекодированы без изменения формата кадра по стандарту

сжатия H.264 с показателем CRF=50 с помощью утилиты ffmpeg. Далее аналогичным образом были извлечены декодированные кадры с шагом в 10 секунд. Из каждого кадра выбраны трёхканальные цветные фрагменты размером 64x64 пикселя с шагом выборки 51 пиксел. Фрагментам низкого воспринимаемого качества изображений присвоена категория “1”.

Разбиение на тренировочную и тестовую выборки производилось следующим образом. Для каждого фильма случайным образом выбирались 5% декодированных кадров, и выделяемые из них фрагменты изображений составляли тестовую выборку; остальные кадры формировали тренировочный набор данных.

Общий объём тренировочной выборки 802428 образца, тестовой – 40954.

6.2.2. Структура и обучение классификатора

В качестве классификатора использована СНС, предложенная в [10]. Задача обучения – классификация фрагментов цветных изображений 64x64 на 2 класса.

Описанная СНС обучалась по методу стохастического градиента с размером подвыборки 256 в течение 25000 итераций. Начальная скорость обучения 0,01. Рис. 7 представляет график кривых обучения. Для реализации нейросетевой модели использовалась библиотека caffe [20].

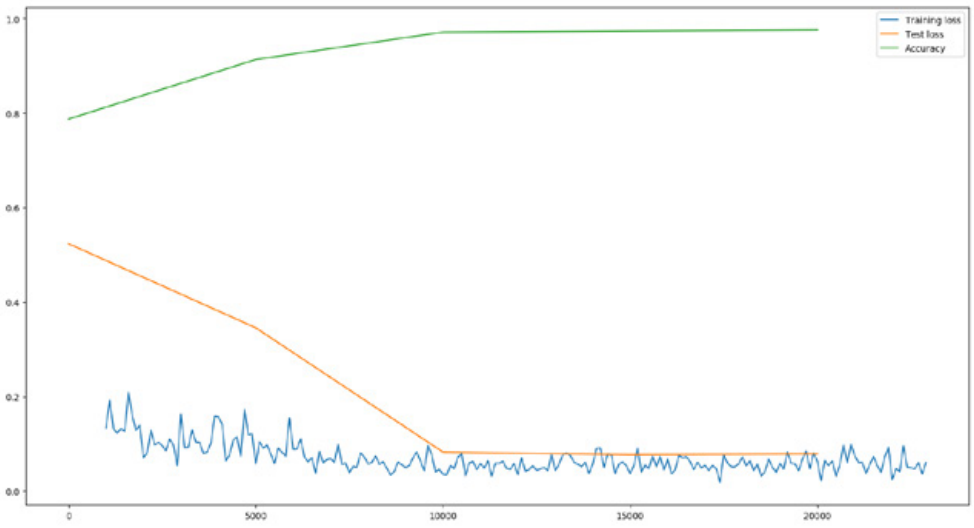


Рис. 7. **График обучения классификатора СНС. По оси абсцисс – количество итераций, по оси ординат – значение функции потерь и точность идентификации**

Достигнутая точность классификации на тестовой выборке составила 97%.

6.2.3. Анализ результатов

Проведённые эксперименты показали, что разработанный классификатор признаков недопустимого визуального качества потока H.264 надёжно обнаруживает кадры с артефактами чрезмерной компрессии независимо от формального значения битрейта. Таким образом, данный алгоритм может служить в качестве контрольного метода при приёмке материалов на архивное хранение и при входном контроле видеофайлов в процессах коммерческого оборота АВК.

Заключение

1. В работе предложены оригинальные методы и алгоритмы анализа изображений, позволяющие автоматизировать входной контроль ЦФМ:

1.1. Разработан метод адаптивного параметрического анализа, основанный на применении искусственных нейронных сетей. Метод обладает широкими возможностями по обнаружению и идентификации как существующих артефактов, так и артефактов, которые могут появиться в будущем при выходе новых алгоритмов кодирования и сжатия изображений.

Особого внимания заслуживает предложенный в данной работе способ контроля соответствия уровня визуального качества изображения среднему битрейту видеопотока.

1.2. Все разработанные алгоритмы реализованы в программном обеспечении, пригодном к опытному внедрению в архивных учреждениях и архивных подразделениях кино- и телестудий. Функциональные возможности ПО:

• для каждого параметра, показателя и дефекта контролируемой видеофонограммы предусмотрен диапазон допустимых значений. Настройка перечня тестируемых показателей и пределов срабатывания производится путём редактирования значений в текстовом файле конфигурации;

• ПО генерирует в качестве выходных данных файл отчёта о фактических параметрах, измеренных показателях и выявленных признаках наличия дефектов в контролируемой видеофонограмме. Файл отчёта генерируется в формате PDF для вывода на печать и/или в формате HTML, удобном для интеграции в корпоративные IT-системы. Отчёт содержит, помимо текстовых данных, изображения дефектных кадров.

2. Разработанные методы и алгоритмы опробованы на тестовых образцах статических и динамических изображений и продемонстрировали высокую эффективность обнаружения соответствующих параметров и дефектов изображения. Так, в цитируемой работе [8] приводится таблица 1, содержащая сравнение лучших на момент написания статьи (2015) показателей точности слепой оценки качества. Приведённые там значения точности, достигнутые разными коллективами, для нейросетевых алгоритмов находятся в диапазоне от 89,7% до 95,2%. Достигнутые в данной работе показатели 92% и 97% со-

поставимы с лучшими мировыми, и далеко превосходят показатели алгоритмов, основанных на традиционных методах (76,9%–81,5%).

3. Разработанные методы и алгоритмы являются параметрическими. Для их использования в технологическом процессе контроля технического качества цифровых фильмовых материалов необходимо продолжение данной работы с целью:

• исследования эффективности, устойчивости, производительности алгоритмов на реальных производственных материалах киновидеофильмов различного формата и качества1;

• исследования соответствия параметров, получаемых в результате автоматического контроля, требованиям, предъявляемым при визуальном контроле качества цифровых фильмовых материалов;

• по результатам проведённых исследований необходима настройка значений модельных параметров и диапазонов допустимых значений контролируемых параметров.

• исследование возможности применения разработанного метода адаптивного параметрического анализа для контроля максимально возможного количества дефектов и артефактов изображений, вызываемых самыми разнообразными причинами. Проведение обучения и настройка нейросети на обработку каждого из дефектов. Включение соответствующих подсистем в общую систему автоматического контроля;

• настройка интерфейса системы для работы производственного персонала. Определение фиксированных параметров и параметров, требующих настройки под конкретный производственный процесс;

• формализация параметров контроля для последующей разработки стандарта предприятия по техническому качеству. ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. *A.K. Moorthy and A.C. Bovik,* “Blind image quality assessment: From natural scene statistics to perceptual quality,” IEEE Trans. Image Process., vol. 20, no. 12, pp. 3350–3364, 2011.
2. *Nikolay Ponomarenko, Vladimir Lukin, Alexander Zelensky, Karen Egiazarian, Jaakko Astola, Marco Carli, and Federica Battisti*. TID2008 – A Database for Evaluation of Full-Reference Visual Quality Assessment Metrics. http://www.ponomarenko.info/papers/mre2009tid.pdf
3. *P.Ye and D. Doermann,* “No-reference image quality assessment using visual codebook,” in IEEE Int. Conf. Image Process., 2011.
4. *H. Tang, N. Joshi, and A. Kapoor*, “Learning a blind measure of perceptual image quality,” in Int. Conf. Comput. Vision Pattern Recog., 2011.
5. *M. Saad, A.C. Bovik, and C. Charrier,* “Blind image quality assessment: A natural scene statistics approach in the DCT domain,” IEEE Trans. Image Process., vol. 21, no. 8, pp. 3339–3352, 2012.
6. *A. Mittal, A.K. Moorthy, and A.C. Bovik,* “No-reference image quality assessment in the spatial domain,” IEEE Trans. Image Process., 2012.
7. *Anish Mittal, Rajiv Soundararajan, Alan C. Bovik.* Making a ‘Completely Blind’ Image Quality Analyzer. IEEE Signal Processing Letters, Volume: 20, Issue: 3, 2013.
8. *Ruomei Yan, Ling Shao.* Blind Image Blur Estimation via Deep Learning. IEEE Transactions on Image Processing, Volume: 25, Issue: 4, 2016.
9. *Sergey Zagoruyko, Nikos Komodakis.* Wide Residual Networks. British Machine Vision Conference, 2016, 87.1-87.12. 10.5244/C.30.87.
10. *K. Simonyan, A. Zisserman.* Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. arXiv:1409.1556
11. ГОСТ 18471-83. Тракт передачи изображения вещательного телевидения. Звенья тракта и измерительные сигналы.
12. Отчёт НИР «Разработка алгоритмов автоматического контроля качества цифровых киновидеофильмов». 2017, УДК 930.251, № госрегистрации АААА-А17-117080950005-2.
13. RECOMMENDATION ITU-R BT.471-1. Nomenclature and description of colour bar signals.
14. РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-RBT.601-7. Студийные параметры кодирования цифрового телевидения.
15. РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-RBT.709-6. Значения параметров стандартов ТВЧ для производства программ и международного обмена программами.
16. РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R BT.2020. Значения параметров для систем ТСВЧ для производства программ и международного обмена ими.
17. TAMPERE IMAGE DATABASE 2013 TID2013, version 1.0. http://www.ponomarenko.info/tid2013.htm
18. *K. Dabov, A. Foi, V. Katkovnik, and K. Egiazarian*, “Image denoising by sparse 3-D transform-domain collaborative filtering”, IEEE Transactions On Image Processing, vol. 16, issue 8, pp. 2080-2095, 2007.
19. *Ester, Martin; Kriegel, Hans-Peter; Sander, Jörg; и др*. A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (1996). AAAI Press. pp. 226–231.
20. *Yangqing Jia, Evan Shelhamer, Jeff Donahue, Sergey Karayev, Jonathan Long, Ross Girshick, Sergio Guadarrama, Trevor Darrell.* Caffe: Convolutional Architecture for Fast Feature Embedding. ArXiv preprint arXiv:1408.5093, 2014.

ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ, СПОСОБЫ ДЕМОНСТРАЦИИ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ воспроизведения объёмных изображений

Д.Г. Чекалин, chekalinnikfi@mail.ru, заведующий лабораторией кинопроекции и новых видов зрелищ, Филиал «Научно-исследовательский кинофотоинститут» АО «ТПО Киностудия им. М. Горького», РФ

Аннотация

В статье рассматривается процесс формирования и особенности восприятия человеком трёхмерного объёмного изображения. Проведено описание основных технических принципов воспроизведения, методов и современных технологий демонстрации объёмных и псевдообъёмных изображений, предложена их классификация. Проанализированы технологические ограничения и возможности практического применения различных видов систем воспроизведения трёхмерного изображения.

Ключевые слова: объёмное изображение, стереоскопия, голография, стереоскопический кинематограф, дисплей объёмного изображения, виртуальная реальность, цифровая голограмма, воксел, хогел, нейрокомпьютерный интерфейс, пространственное восприятие.

FEATURES OF PERCEPTION, METHODS OF DEMONSTRATION AND MODERN TECHNOLOGIES OF THREE-DIMENSIONAL IMAGES REPRODUCTION

D. Chekalin, chekalinnikfi@mail.ru, Head of Laboratory of film projection and new types of shows. Cinema and Photo Research Institute JSC "Gorky Film Studio", Russia

Abstract

The article considers the process of formation and features of perception of the three-dimensional volume image by human-beings. Description of basic technical principles of reproduction, methods and modern technologies of demonstration of volume and pseudo-volume images is given, their classification is suggested. Technological limitations and possibilities of practical application of different types of three-dimensional images reproduction systems are analyzed.

Keywords: three-dimensional image, stereoscopy, holography, 3D cinema, volumetric display, virtual reality (VR), digital hologram, voxel, hogel, brain-computer interface (BCI), depth perception.

Продолжение, часть 3 (начало в МТК № 2017-1, 3(11))

■ Развёртка плоским элементом с возвратно-поступательным движением

Развёртка воксельного массива с плоской поверхностью является одним из самых простых геометрических методов, объёмное изображение составляется из набора последовательных слоёв. С точки зрения обработки информации это тоже удобно, т.к. с таким массивом можно работать как со стандартными кадрами. Неудобным является осуществление механического возвратно-поступательного движения, так как в момент изме-

нения направления движения возникают механические нагрузки на элементы конструкции, а при больших размерах экрана существенным окажется и сопротивление воздуха при быстрых перемещениях сканирующей плоскости. В связи с этим интересны решения, при которых не требуется механическое перемещение элементов конструкции.

Первым вариантом решения этой задачи стало размещение между зрителем и экраном, на который последовательно выводятся плоские элементы слоёв объёмного изображения, линзы (или сферического зеркала), которые быстро меняют величину фокусного расстояния, благодаря чему изображение экрана, наблюдаемое зрителем сквозь эту линзу (или сферическое зеркало), может приближаться или удаляться относительно наблюдателя [24]. Если согласовать изменение фокусного расстояния с демонстрируемыми «слоями» объёмного изображения, то мы получим оптический аналог развёртки изображения по глубине. Создать большое сферическое зеркало с быстро изменяемым фокусным расстоянием оказалось значительно проще, чем линзу. Для этого можно натянуть зеркальную упругую плёнку на круглый звуковой громкоговоритель, который, создавая в пространстве за плёнкой звуковое давление, может нужным образом изменять кривизну поверхности натянутой плёнки с частотой в пределах частот звукового диапазона (рис. 32). Этот вариант имеет определённые недостатки, основным из которых является существенное ограничение для места положения наблюдателя.

Есть другое решение для обеспечения возвратно-поступательной развёртки воксельного массива без применения механически движущихся элементов. Движущийся экран можно заменить набором сложенных вместе прозрачных плоскопараллельных пластин, которые должны обладать свойством по очереди переключаться из прозрачного состояния в светорассеивающее – при подаче управляющего сигнала. В этом случае, поочерёдно переключая режим светорассеивания с одной пластины на другую и включая этот режим одновременно только для одной пластины, можно имитировать процесс, аналогичный механическому перемещению светорассеивающего физического экрана. Нужными свойствами обладает светорассеивающий электрооптический модулятор на жидких кристаллах, такие модуляторы имеют два состояния, управляемых электрическим сигналом.

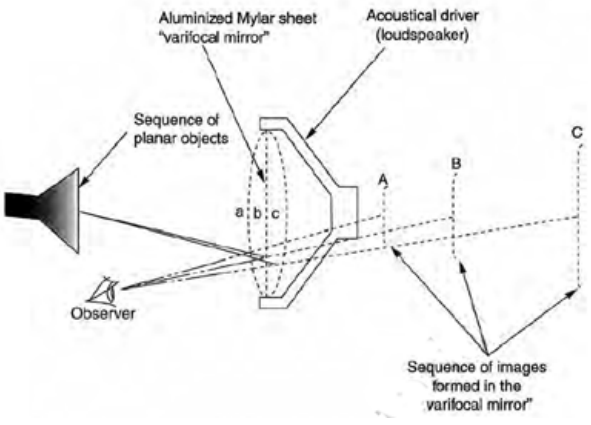


Рис. 32. **Схема работы устройства демонстрации объёмного изображения с зеркалом с переменным фокусным расстоянием**

В 2003 году американская компания Light Space Technology продемонстрировала трёхмерный дисплей с объёмным изображением DepthCube Z1024 (рис. 33). В устройстве воксельный массив был выполнен в виде многослойного оптического блока (multi-planar optical element, MOE), состоящего из двадцати параллельных слоёв электрооптических светорассеивающих модуляторов со стабилизированными полимером жидкими кристаллами смектического типа, которые под воздействием электрического поля из исходного светорассеивающего состояния переходят в прозрачное. В качестве

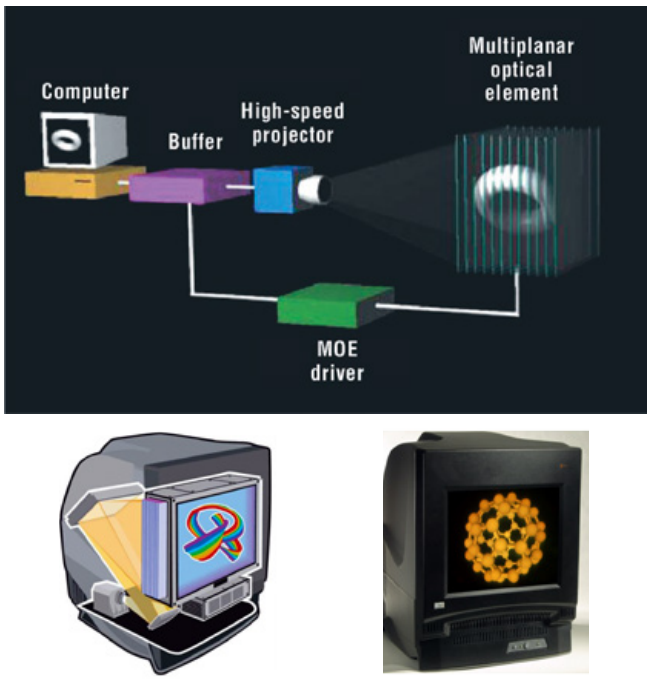


Рис. 33. **Объёмный дисплей DepthCube Z1024T и схема устройства**

проецирующего устройства применён высокоскоростной DLP видеопроектор с чипами Texas Instruments, поддерживающий 1500 кадров в секунду и осуществляющий проекцию на электрооптические светорассеивающие модуляторы с обратной от зрителя стороны в режиме «на просвет». Дисплей имеет размер диагонали экрана 19,6 дюймов, разрешение изображения 1024×768 пикселей и 20 планов по глубине, общее количество отображаемых вокселей 15,7 миллиона, размер пространства отображения объёмного изображения 395×295×100 мм. Устройство выпускается серийно. Данное устройство производится более десяти лет, появились новые модификации, при этом размер экрана и количество планов по глубине остаются без изменений. Количество планов определяет-

ся полным быстродействием всех элементов устройства, и в данном случае ограничение вызвано быстродействием проектора и инерционностью светорассеивающих модуляторов, к сожалению, жидкие кристаллы имеют существенный недостаток в виде ограничения по скорости изменения состояния.

2.3. Устройства со свободно перемещающимися физическими вокселями

В устройствах этого типа физические воксели не фиксированы в определённых точках трёхмерного воксельного массива внутри объёма пространства демонстрируемого изображения и могут физически перемещаться в трёхмерном пространстве, занимая новые положения и формируя поверхности демонстрируемых объектов. Перемещаясь, воксели группируются, имитируя реальные объекты, и воссоздают их форму и положение в пространстве. При изменении сцены воксели физически перемещаются в пространстве, образуя новую пространственную конфигурацию, соответствующую новому кадру. Воксели могут быть светоизлучающими или отражать свет от внешнего источника. Возможны различные схемы реализации, в идеале все подвижные воксели должны обладать возможностью независимого передвижения по любой трёхмерной траектории в объёме рабочего пространства, но на данный момент таких решений не предложено в силу их технологической сложности, хотя это является одним из наиболее эффективных и перспективных направлений.

Практически реализованы схемы с вокселями, движущимися прямолинейно и только в одном измерении, что позволяет демонстрировать объёмные изображения с определёнными ограничениями. Разработано два варианта: в первом каждый воксель подвешен на гибком тросе и висит на нём под действием силы тяжести, а управляемый электропривод может опускать или поднимать воксель, фиксируя его положение в заданном месте; второй вариант известен как игольчатый экран, где каждый воксель установлен на отдельном жёстком стержне (или игле, что исторически определило название этой технологии), который укорачиваясь или удлиняясь, перемещает воксель вперёд-назад. В обоих этих вариантах группа подвижных вокселей в исходном состоянии представляет собой плоскость; перемещаясь в перпендикулярном к этой плоскости направлении, воксели могут формировать рельефную или пространственную композицию.

2.3.1. Устройства с вокселями на гибкой подвеске

Перемещение вокселей в пространстве можно обеспечить, подвесив их на тонких нитях или тросах, на которых под действием силы тяжести они будут свободно висеть в пространстве, а для их перемещения по вертикали нужно изменять длину троса. Тросы можно закрепить на катушках с электроприводом или на электролебёдках. Когда все тросы полностью смотаны, все воксели находятся в крайнем верхнем положении и не видны зрителю. Воксели могут быть с внутренней подсветкой (рис. 34), в этом случае тросы должны быть дополнительно снабжены электропроводкой, или могут освещаться снаружи. Так как одновременно подвесить большое количество вокселей нельзя, то системы такого вида не могут обеспечить качественное изображение и в основном применяются в декоративных целях или как эффектный и зрелищный инструмент кинетического искусства (рис. 35).

2.3.2. Рельефные игольчатые экраны (pinscreen)

Игольчатый экран представляет собой несущую плоскость, в которой через равномерно распределённые отверстия проходят длинные тонкие иглы или стержни. Иглы могут перемещаться перпендикулярно плоскости, а поверхность, образованная концами игл, формирует рельеф, который может создавать объёмное изображение. Практически поверхность изображения формируется кончиками игл. Количество игл определяет качество и детализацию изображения, чем их больше на единицу поверхности, тем лучше можно получить изображение.

Одно из первых применений этой технологии связано с техникой анимации, изобретённой и успешно реализованной ещё в 1931 году художником и аниматором Александром Алексеевым. В первом экране Алексеева было 500 тысяч игл, а второй состоял уже из миллиона игл (рис. 36). На игольчатом экране вручную создавались рельефные изображения, формирующие от специальных световых приборов светотеневые изображения, которые снимались на киноплёнку. В дальнейшем технология со-

Рис. 34. **Светодиодная кинетическая система KINETIC FLY**

Рис. 35. **Кинетическая скульптура в Музее BMW в Мюнхене, Германия**

Рис. 36. **А. Алексеев. Изображение на игольчатом экране с одним миллионом игл к фильму «Мимоходом» (1943 год)**

здания рельефного изображения методом игольчатого экрана применялась в игрушках, дисплеях как инструмент кинетического искусства, и т.д.

Для получения движущегося изображения на рельефном экране необходимо обеспечить контролируемое возвратно-поступательное движение каждой из игл экрана, для чего могут применяться электромеханические, пневматические, гидравлические и т.п. приводы.

Игольчатые экраны могут быть оснащены на концах игл светоизлучающими элементами или могут освещаться снаружи, в том числе, проецируемым изображением от проектора, при этом необходима точная синхронизация перемещения игл с их освещением. Расположение рельефных экранов может быть не только вертикальным, технических ограничений для их положения в пространстве нет, и всё определяется положением зрителей относительно экрана и требуемым художественным эффектом, например, в Южной Корее создан горизонтальный рельефный экран напольного исполнения (рис. 37).

Технологии игольчатого экрана успешно применяются при создании рельефных видеоэкранов. Одним из самых интересных и зрелищных стал кинетический фасад MegaFace (рис. 38), специально созданный для Олимпийских игр 2014 года в Сочи с огромным экраном размером 8×6 м и динамической глубиной (глубина создаваемого рельефа) 2 м. Изображение создавалось 11000 самостоятельно движущимися телескопическими поршнями, с цветной светодиодной подсветкой на каждом, и общей электрической световой мощностью 110 кВт [25]. Эта работа получила главный приз на фестивале в Каннах в категории «Инновации».

Интересное развитие идеи игольчатого экрана предложено в лаборатории Media Lab Массачусетского технологического института – дисплей inFORM (Dynamic Shape Display) с игольчатым экраном [26]. Разработанный дисплей обладает интерактивными свойствами, на рельефный экран проецируется изображение, соответствующее формируемому динамическому рельефу, и одновременно система Kinect позволяет отслеживать и обеспечивать

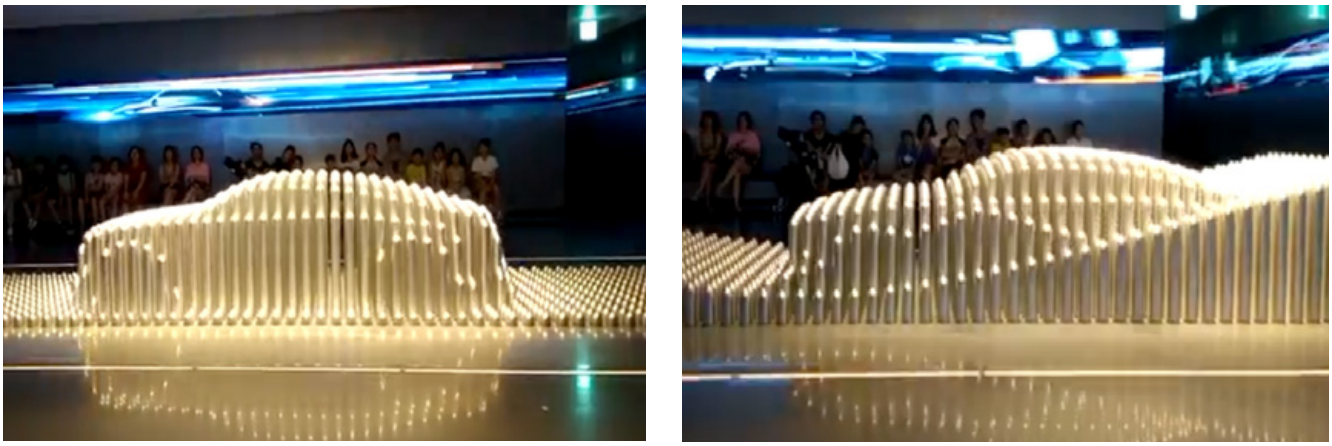


Рис. 37. **Рельефный кинетический экран в Hyundai Motorstudio в городе Коян в Южной Корее**

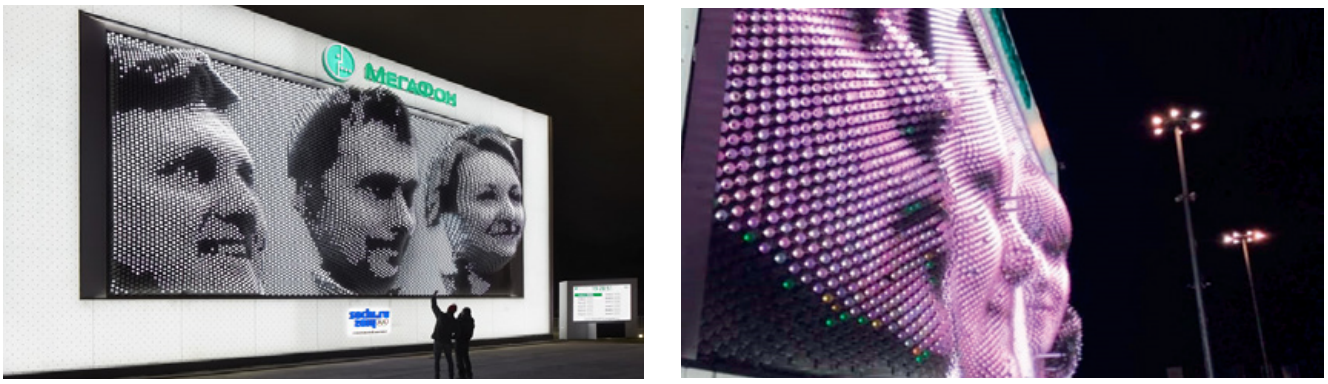


Рис. 38. **Рельефный видеоэкран MegaFaces на Олимпийских играх 2014 года в Сочи**

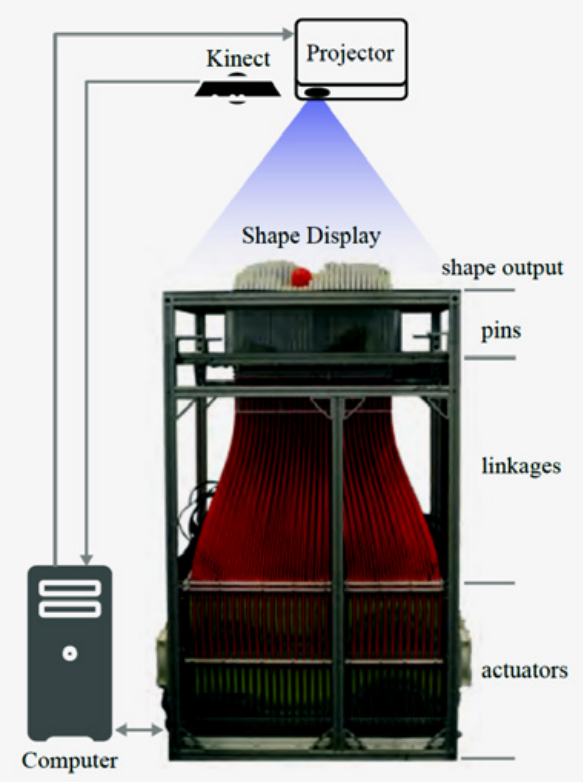


Рис. 39. **Схема устройства inForm лаборатории Media Lab Массачусетского технологического института**

взаимодействие создаваемого рельефного изображения с реальными объектами (рис. 39). Например, пользователь может контактно ощупывать сформированное изображение и изменять его, или наоборот, сформированный рельеф может взаимодействовать с реальным объектом и воздействовать на него, например, физически перемещать по поверхности экрана мячик (рис. 40). Фактически это устройство является прототипом создания интерактивной управляемой объёмной среды.

Игольчатые экраны, в силу своей конструктивной специфики, имеют существенные ограничения и могут формировать только рельефные изображения ограниченной глубины и, в принципе, не способны демонстрировать объёмные изображения или сцены из нескольких отдельных объектов, разнесённых по глубине и перекрывающих друг друга. При этом они позволяют создавать рельефные динамические изображения с хорошим разрешением и могут найти применение для создания интерактивной среды. ■

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

17. *B.G. Blundell*. 3D Displays and Spatial Interaction: Exploring the Science, Art, Evolution, and Use of 3D Technologies, Volume I: From Perception to Technologies (408 pages), ISBN 9780473177003, Walker & Wood Limited (2011).
18. *K. Langhans, D. Bahr, D. Bezecny, D. Homann, K. Oltmann, K. Oltmann, C. Guill, E. Rieper, G. Ardey,* "FELIX 3D Display: An Interactive Tool for Volumetric Imaging", Proceedings of SPIE, Vol. 4660, San Jose, CA, 2002.
19. *Ежов В.А.* Трёхмерный дисплей: выбор практически ценных технических решений. – Киномеханик, 2006, № 8, № 9, №10.
20. *Книгин С.* Обзор 3D Дисплеев (3D Displays review). [Электронный ресурс]. URL: http://really.ru/articles/vr-hardware/106--3d-.htm (дата обращения: 10.09.2017).
21. 2017 SEEKWAY Product Catalogue V1.pdf. [Электронный ресурс]. URL: http://www.seekway.com.cn/html/en/index.php?ac=article&at=list&tid=289 (дата обращения: 10.09.2017).
22. *Shree K. Nayar and Vijay N. Anand*. Department of Computer Science, Columbia University. Technical Report: CUCS-030-06. July, 2006. [Электронный ресурс]. URL: http://www1.cs.columbia.edu/CAVE/publications/pdfs/Nayar_TR06.pdf. (дата обращения: 10.09.2017).
23. *Самарин А.* Современные технологии дисплеев объёмного изображения. Современная электроника, № 2, 2005. С.16–20.
24. *E.G. Rawson.* Vibrating varifocal mirrors for 3-d imaging. IEEE Spectrum, 6(9):37–43, 1969.
25. Павильон MegaFaces в Олимпийском парке Сочи. URL: http://axisagency.ru/portfolio/pavilon-megafaces-v-olimpijskom-parke-v-sochi-2014/ (дата обращения: 10.09.2017).
26. *Sean Follmer, Daniel Leithinger, Alex Olwal, Akimitsu Hogge, and Hiroshi Ishii.* 2013, inFORM: dynamic physical affordances and constraints through shape and object actuation. In Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '13). ACM, New York, NY, USA, 417–426. URL: http:// dspace.mit.edu/handle/1721.1/92273#files-area. (дата обращения: 10.09.2017).

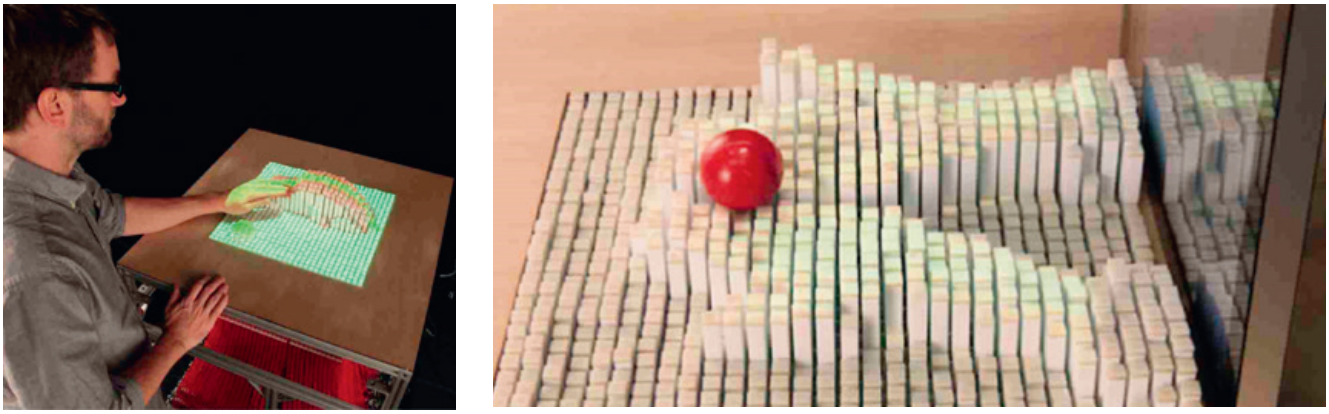
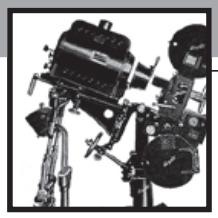
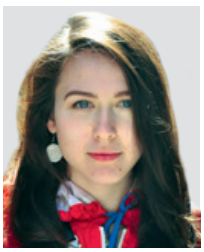


Рис. 40. **Рельефное изображение на устройстве inFORM и примеры взаимодействия с ним**



ВИРТУАЛЬНЫЕ СТЕРЕООБРАЗЫ И ОРИЕНТАЦИЯ ЗРИТЕЛЬНЫХ ОСЕЙ: индивидуальные различия в восприятии величины и позиции



Н.Н. Васильева, *vasnadya@rambler.ru*, д.б.н., Г.И. Рожкова, *gir@iitp.ru*, д.б.н., профессор, М.А. Грачёва, Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, РФ

Аннотация

Обнаружены принципиальные индивидуальные различия в восприятии позиции по глубине и величины стереообразов, формирующихся при искусственном увеличении угла конвергенции зрительных осей в процессе измерения фузионных резервов. В идентичных условиях стимуляции виртуальные стереообразы могут восприниматься либо как сохраняющие свою позицию на экране и первоначальные размеры, либо как движущиеся от экрана и меняющие свои размеры. Указанные индивидуальные различия могут иметь существенное значение для прогнозирования степени потенциального дискомфорта при просмотре фильмов в формате 3D.

Ключевые слова: фузионные резервы, восприятие глубины, восприятие размера, индивидуальные различия стереовосприятия.

VIRTUAL STEREO IMAGES AND ORIENTATION OF VISUAL AXES: INDIVIDUAL DIFFERENCES IN PERCEPTION OF SIZE AND POSITION

N. Vasilyeva, vasnadya@rambler.ru, D.Sci, G. Rozhkova, gir@iitp.ru, D.Sci, prof., M. Gracheva, Russia

Abstract

Principal inter-individual differences have been found in the appearance of stereo images – their perceived sizes and positions in depth – observed due to artificial increase of convergence in the course of measuring fusion reserves. Despite identical conditions of stimulation, the virtual stereo image can be perceived either as keeping its constant position on the screen and its initial size or as moving from the screen and changing its size. These interindividual differences could have diagnostic significance for prediction visual discomfort while viewing 3D movies.

Keywords: fusion reserves, depth perception, perception of size, interindividual differences in stereo percepts.

Введение

Одним из базовых показателей бинокулярного зрения, определяющих комфортность восприятия стереофильмов данным зрителем, является величина его фузионных резервов. Этот показатель характеризует робастность фузионных механизмов зрительной системы – способность сохранения стереообразов в условиях рассогласования аккомодации и конвергенции.

Принцип измерения фузионных резервов состоит в искусственном изменении угла между зрительными

осями, приводящем к удалению точки их пересечения (обычно совпадающей с точкой фиксации) от плоскости, в которой предъявляются рассматриваемые тест-объекты, либо по направлению к глазам наблюдателя (измерение конвергентных резервов), либо в противоположном направлении (измерение дивергентных резервов). В настоящее время эта измерительная процедура реализуется на практике тремя способами:

- приставлением к одному глазу или к обоим глазам призм всё большей силы [9], меняющих направление лучей, идущих от тест-объекта в глаз наблюдателя (рис. 1,а);

- при помощи специального прибора – синоптофора [3], обеспечивающего раздельное предъявление левого и правого изображений в двух оптических каналах, угол между которыми меняется путём механического поворота (рис. 1,б);

- посредством интерактивных компьютерных программ [1,6], позволяющих на основе того или иного современного метода сепарации изображений для левого и правого глаза генерировать необходимые тестовые стимулы и наблюдать формирующиеся образы (рис. 1,в).

Обычно при измерениях в протокол заносят только критические отклонения углов между зрительными осями от исходного угла конвергенции, соответствующего точной фиксации. При превышении этих критических отклонений наступает сильное расплывание и затем распад стереообраза. В оптометрических руководствах, как правило, приводят три пары нормативных критических значений: углы отклонения от исходного состояния в сторону избыточной конвергенции и дивергенции, при которых расплывание образов становится явно заметным (blur points), при которых происходит распад стереообраза, сопровождающийся диплопией (break points), и при которых имеет место восстановление фузии и возникновение стереообраза при уменьшении избыточных углов конвергенции\дивергенции после диплопии (recovery points).

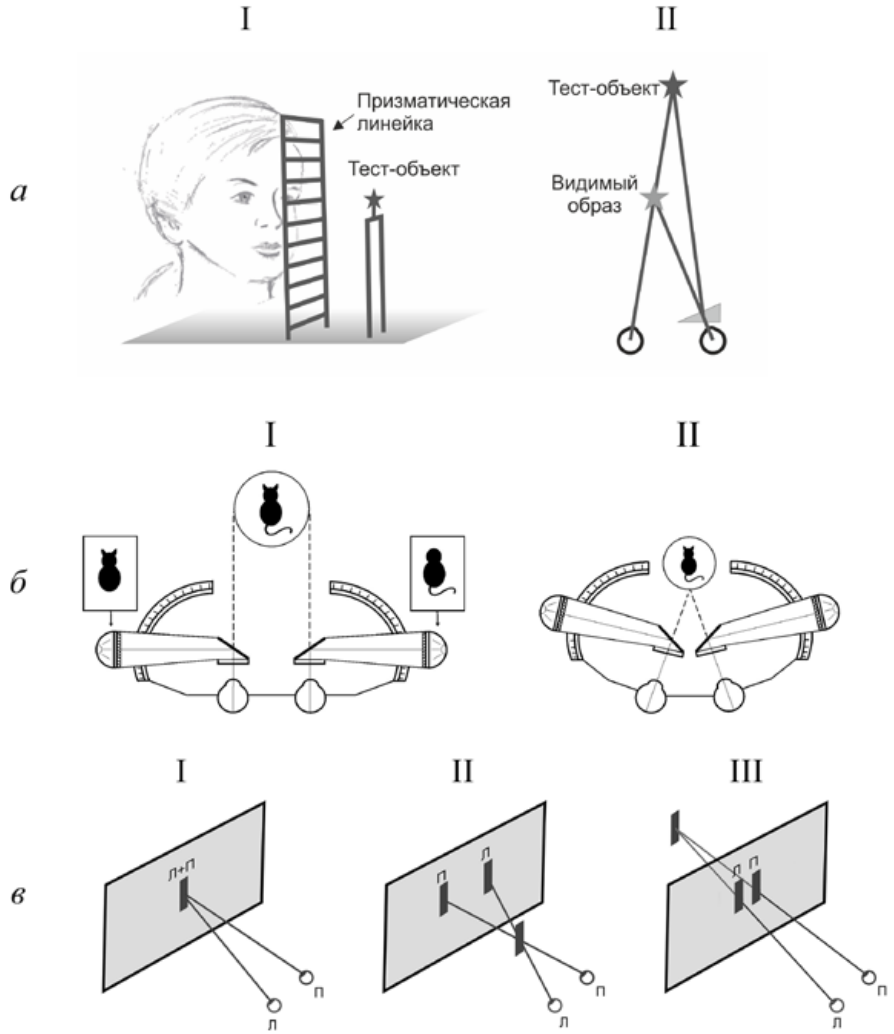


Рис. 1. **Три способа измерения фузионных резервов: а – иллюстрация процедуры измерения фузионных резервов путём смены призм перед левым глазом (I) и схема хода лучей при наблюдении тест-объекта (II); б – измерение конвергентных фузионных резервов на синоптофоре: схема I соответствует исходной позиции, когда оси двух глаз параллельны; на схеме II показан промежуточный этап измерения конвергентных резервов. Для примера приведены традиционные различающиеся зрительные стимулы для слияния (кошка с хвостом, но без ушей + кошка с ушами, но без хвоста = кошка с хвостом и ушами); в – схемы расположения левого (Л) и правого (П) стимулов в исходный момент (I) и при измерении конвергентных (II) и дивергентных (III) фузионных резервов**

Получаемые при измерениях фузионных резервов значения зависят от параметров тестовых объектов – от их размеров, яркости, скорости движения, определяющей скорость изменения угла конвергенции зрительных осей, от расстояния наблюдения и других условий проведения измерительной процедуры. До недавнего времени фузионные резервы в большинстве случаев измеряли в условиях изменения конвергенции мелкими шагами: при помощи призматических линеек, в которых сила соседних призм различалась незначительно, или путём ступенчатого изменения угла между оптическими каналами синоптофора

столь малыми сдвигами, чтобы эти сдвиги, сами по себе, не приводили к срыву фузии. Из-за этих методических особенностей испытуемый обычно не обращал внимания на движение воспринимаемого образа, а как бы наблюдал последовательность тестовых полей с неподвижными объектами, поэтому приводимые в справочниках значения фузионных резервов можно считать показателями наблюдения стационарных сцен.

Появление компьютерных методов измерения создало возможность обеспечивать практически плавное движение тестовых стимулов (сдвиги в этом случае определяются размерами пикселей), что позволило испытуемым наблюдать движение виртуальных стереообразов в пространстве при изменениях угла конвергенции и изучать влияние скорости движения тестовых стимулов на результаты измерений.

Публикаций, специально посвящённых описанию видимых размеров и позиций виртуальных стереообъектов, возникающих при измерении фузионных резервов, мы не нашли, но при эпизодических опросах школьников и студентов во время массовых обследований обратили внимание на то, что субъективные отчёты испытуемых о величине наблюдаемых стереообъектов и их позициях иногда существенно расходятся. Для прояснения ситуации были поставлены специальные эксперименты в лабораторных условиях на компьютерной установке, дополненной метками, обеспечивающими возможность сопоставлять позиции тестовых стимулов на экране дисплея и позиции стереообразов в пространстве.

Проведённые эксперименты позволили выявить принципиальные индивидуальные различия в восприятии величины и пространственного расположения виртуальных бинокулярных образов, формируемых в результате фузии левого и правого тестовых изображений. Указанные индивидуальные различия могут иметь существенное значение для прогнозирования степени потенциального дискомфорта при просмотре фильмов в формате 3D.

Методика измерения фузионных резервов

В экспериментах участвовали взрослые испытуемые в возрасте от 22 до 75 лет – пятнадцать человек, давшие информированное согласие на проведение процедуры измерений. Среди испытуемых было примерно равное число знавших и не знавших о цели эксперимента (опытных и не имевших опыта участия в подобных исследованиях).

Измерение фузионных резервов проводили с использованием разработанной в ИППИ РАН интерактивной компьютерной программы «Фузия» [1], позволяющей использовать поляризационный и цветовой (анаглифный вариант) способы сепарации левого и правого изображений. Методика измерения фузионных резервов при помощи программы «Фузия» соответствовала подробно описанной нами ранее в работах, выполненных с использованием аналогичной программы «Фурор», являющейся прототипом «Фузии» [2,6,7]. Следует специально отметить, что в использованных программах в качестве стимулов применялись случайно-точечные стереограммы (СТС), которые позволяли контролировать сохранение у испытуемых способности к формированию полноценных стереообразов на основе бинокулярной диспаратности на всём протяжении каждого измерения до момента распада сфузированного образа при достижении критических углов конвергенции.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2,а. Она включала 3D телевизор фирмы LG модели 32LF620U, использованный в качестве монитора для предъявления тестовых стимулов, подставку-подбородник для фиксации головы испытуемого и метки – указатели расстояния.

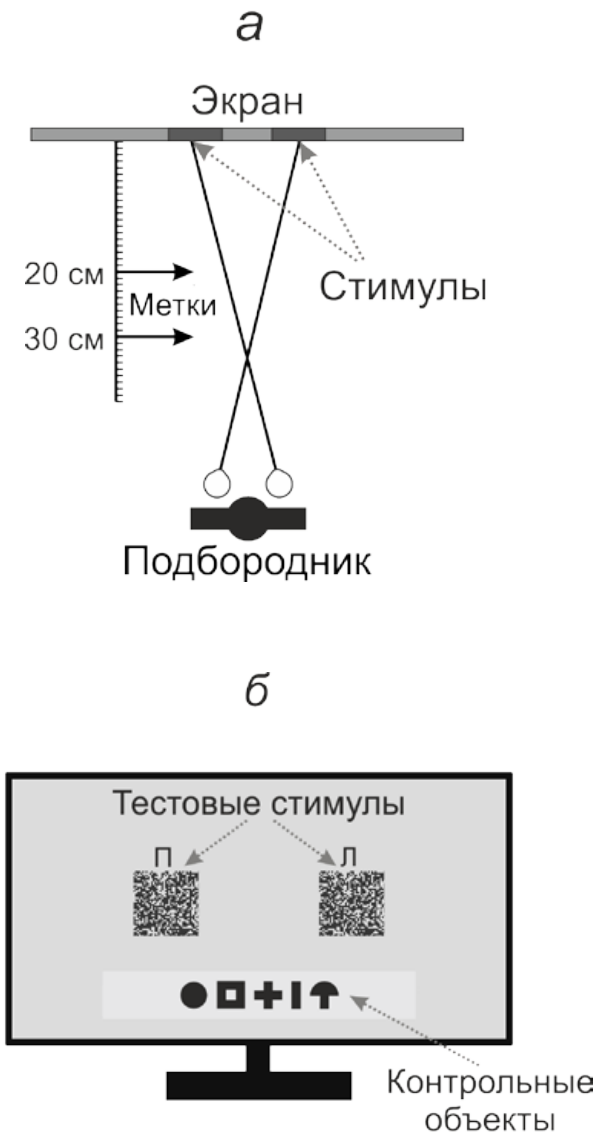


Рис. 2: **а – схема экспериментальной установки; б – пояснения к структуре стимула и процедуре контроля: вид экрана после измерения с остановленной стереограммой и «детектором лжи», содержащим контрольные объекты**

Использованные в качестве зрительных стимулов квадратные СТС имели размеры 90х90 мм и кодировали простые тест-объекты, слегка выступающие из фона за счёт диспаратности (циклопические объекты). Размер отдельных «точек» – элементов СТС – составлял 5х5 пикселей, а размер пикселя был равен 0.51 мм. Для раздельного восприятия левого и правого изображений с одного экрана применяли поляризационный (на основе круговой поляризации света) или цветовой (анаглифный) способ сепарации изображений.

Процедура измерений. Испытуемому надевали стереоочки и сажали его на расстоянии 50 см от экрана телевизора на стуле регулируемой высоты. Голову испытуемого фиксировали на подставке-подбороднике таким образом, чтобы глаза находились на уровне центра экрана. В начальный момент левый и правый стимулы были совмещены в центре экрана, что позволяло испытуемым с нормальными механизмами бинокулярного стереопсиса легко сфузировать эту пару изображений и увидеть на случайно-точечном фоне циклопический объект, закодированный в СТС. В качестве циклопических объектов использовали пять простых фигур, которые могли меняться. Когда испытуемый начинал видеть циклопический объект, он сообщал о своей готовности к измерениям, и экспериментатор запускал программу медленного движения левого и правого стимулов в противоположных направлениях от центра. Скорость движения стимулов по экрану составляла 100 мм/мин. По ходу движения циклопические объекты менялись в случайном порядке, что удерживало внимание испытуемого и позволяло точно установить момент распада бинокулярного образа. Регистрацию момента распада виртуального бинокулярного образа проводили щелчком мыши на основании субъективного отчёта испытуемого, это приводило к остановке движения стимулов и выводу на экран контрольного набора циклопических объектов – «детектора лжи» (рис. 2,б). Испытуемому предлагалось выбрать объект, воспринимаемый им непосредственно перед моментом распада. При измерении конвергентных фузионных резервов правый стимул двигался влево, а левый – вправо, так что усилия испытуемого фиксировать каждым глазом центр «своего» стимула вызывали постепенное увеличение угла конвергенции. При измерении отрицательных фузионных резервов правый стимул двигался вправо, а левый – влево, что приводило к дивергенции зрительных осей. Оценкой фузионных резервов служили те предельные углы конвергенции и дивергенции, превышение которых вызывало срыв фузии, исчезновение циклопического объекта и диплопию.

Опыт проводили в два этапа. На первом этапе у испытуемого измеряли конвергентные фузионные резервы, а по окончании процедуры просили описать наблюдавшиеся изменения видимых образов. Целью второго этапа было сопоставление позиции виртуального стереообъекта с точкой пересечения зрительных осей. Для этого были использованы метки, устанавливаемые на расстояниях 20 см и 30 см от экрана. В экспериментах второго этапа участвовали только такие испытуемые, у которых наблюдался выход виртуальных стереообъектов из экрана. Задача испытуемого состояла в том, чтобы нажатием клавиши остановить процедуру, когда стереообраз окажется на одном уровне по глубине с заданной меткой, тем самым зафиксировав в этот момент позиции левого и правого стимулов на экране. Зафиксированные позиции стимулов служили ориентирами для оценки вероятной позиции точки пересечения зрительных осей в момент наблюдения виртуального стереообъекта на заданной глубине.

Полученные результаты. В настоящей статье приводятся результаты оценки размеров и позиций наблюдаемых виртуальных стереообъектов только для случая измерения конвергентных фузионных резервов. Рекогносцировочные эксперименты показали, что проведение аналогичного исследования для случая измерения дивергентных резервов затруднено в связи с меньшей абсолютной величиной этих резервов (что снижает точность замеров) и невозможностью расположить метки расстояния в заэкранном пространстве достаточно близко к траектории движения виртуального стереообъекта, который воспринимается как уходящий вглубь экрана. По указанным причинам случай дивергентных резервов будет рассмотрен в отдельной работе.

Результаты опроса, касающегося величины, позиции и движения виртуальных стереообъектов в условиях измерения конвергентных резервов, выявили наличие у испытуемых принципиальных расхождений в описании образов, наблюдаемых в процессе измерений. Оказалось, что участники эксперимента распадаются на две основные категории:

- у одних виртуальные образы локализуются примерно в месте пересечения осей двух глаз и уменьшаются по мере удаления от экрана, как это можно было бы ожидать из физических соображений и геометрических построений;

- у других на протяжении всего цикла измерений фузионных резервов, включающего значительное расхождение левого и правого изображений от центра к краям экрана, бинокулярные виртуальные образы остаются «привязанными» к нему, не выходят в предэкранное пространство и не приближаются к глазам, а лишь становятся всё более расплывчатыми.

В обе категории попало по семь человек, и кроме того, у одного испытуемого в начале процедуры измерения виртуальный образ выходил из экрана и двигался к глазам, а затем возвращался обратно. Вполне вероятно, что этот испытуемый не является таким уж редким исключением, и при более массовом обследовании люди такого типа составят заметный процент. Также нельзя исключить и обнаружения других вариантов перцептов, которые могут сформироваться в условиях измерения фузионных резервов.

Общий характер изменения видимых образов у испытуемых двух основных категорий представлен на рисунке 3, содержащем три схемы. Рис. 3,*а* показывает вид тестовых стимулов в исходный момент, когда левое и правое тестовые изображения находятся в центре экрана, и воспринимаемые образы у всех испытуемых обеих категорий локализованы там же. Рис. 3,*б* иллюстрирует результаты испытуемых первой категории, отражая момент, когда в своём движении в разные стороны левое и правое изображения уже полностью разошлись, но это ещё не привело к срыву фузии, и сфузированный виртуальный стереообъект, вышедший в предэкранное пространство, «висит» между экраном и наблюдателем. Этот стереообъект кажется уменьшенным по сравнению с исходным: его видимая величина примерно пропорциональна расстоянию от глаз до точки пересечения зрительных осей. Рис. 3, *в* иллюстрирует особенности испытуемых второй категории, у которых бинокулярные виртуальные образы не движутся и не меняют свои размеры, оставаясь в центре экрана до самого момента распада при критическом угле конвергенции.

Несколько испытуемых, у которых при расхождении левого и правого стимулов на экране наблюдалось перемещение видимого образа от экрана к глазам, приняли участие во втором, «количественном» этапе экспериментов, включающем числовые оценки. У этих испытуемых проверяли совпадение позиции виртуального стереообраза с точкой пересечения зрительных осей, используя метки расстояния и останавливая процедуру в момент приближения к ним виртуального образа. Расстояния 20 и 30 см для установки меток были выбраны на основании данных наших предыдущих исследований [2], в процессе которых фузионные резервы были измерены у нескольких сотен испытуемых. Измерения проводили в условиях поляризационной и цветовой сепарации. У испытуемых расчётные позиции точки пересечения двух зрительных осей при достижении виртуальным стереообъектом уровня 20 см были в диапазоне от 20.5 до 22.2 см в поляризационном режиме сепарации, и от 17.5 до 21.2 см – в анаглифном, а при достижении уровня 30 см – от 29.5 до 33.5 см в поляризационном, и от 30.4 до 31.3 – в анаглифном. Сравнение значений, полученных в условиях поляризационной и анаглифной сепарации, показало, что у обследованных испытуемых они либо практически совпадают, либо различаются незначительно. Учитывая возможные индивидуальные различия в точности оценки положения стереообраза по отношению к меткам и в скорости сенсомоторных реакций испытуемых, в первом приближении, можно сказать, что имело место неплохое совпадение сравниваемых позиций. Проведённое исследование носило рекогносцировочный характер, и количественные данные будут уточняться в последующих экспериментах. Что касается видимых размеров стереообъектов, то пока только на качественном уровне было установлено их явное уменьшение по мере удаления от экрана и приближения к глазам наблюдателя, причём в разной степени у разных испытуемых.

Заключение

Существование принципиальных различий между испытуемыми в отношении характера виртуальных образов, наблюдаемых при измерении фузионных резервов, свидетельствует о возможности неоднозначной интерпретации сетчаточных изображений в этих условиях и доминировании у разных испытуемых разных механизмов, вносящих вклад в эту интерпретацию. Как известно [5,10], в формировании видимых образов обычно участвуют различные параллельные механизмы, автономно производящие оценку одних и тех же параметров рассматриваемой сцены. В условиях проводимых экспериментов в разные мозговые подсистемы анализа зрительной информации поступают весьма противоречивые сигналы о величине и позиции тест-объекта, которые трудно согласовать между собой, исходя из простых гипотез о виде и движении наблюдаемого объекта. Поступающие сигналы обрабатываются параллельно функционирующими монокулярными и бинокулярными механизмами, которые могут вносить разный вклад в формируемый видимый образ.

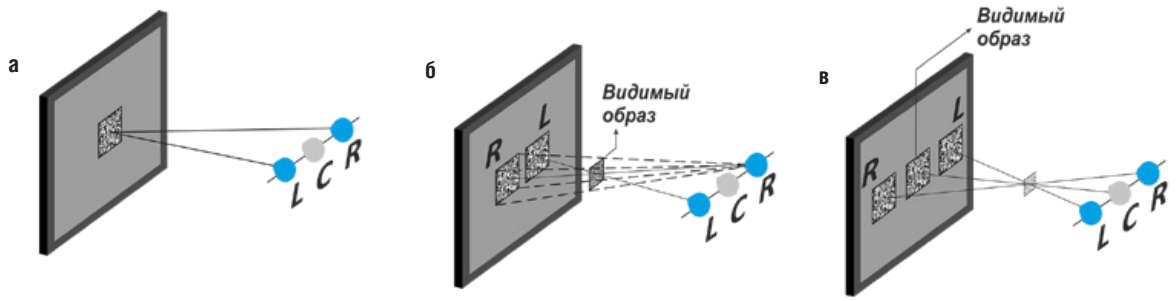


Рис. 3. **Различие в восприятии зрительных стимулов испытуемыми двух категорий; а – исходное состояние: левый и правый стимулы совмещены в центре экрана, и испытуемые обеих категорий воспринимают стереообъект там же; б – у испытуемых первой категории в промежуточной фазе измерений стереообраз воспринимается вышедшим из экрана, приближающимся к испытуемому и уменьшенным по сравнению с исходным размером; в – у испытуемых второй категории до конца измерений стереообраз сохраняет свою позицию в центре экрана и не меняет воспринимаемую величину**

Объективно при измерении фузионных резервов в мозг поступает следующая весьма противоречивая информация:

- проприоцептивные и мышечные сигналы об угле конвергенции глаз меняются в соответствии с движением тест-объектов по экрану; увеличение угла конвергенции зрительных осей должно свидетельствовать о приближении наблюдаемого объекта, но в естественных условиях наблюдения реальных объектов их приближение должно сопровождаться увеличением угловых размеров на сетчатках, чего в анализируемых условиях не происходит;

- сенсорные сетчаточные сигналы свидетельствуют об уменьшении сетчаточных изображений тест-объектов в связи с увеличением расстояний до этих объектов при движении левого и правого стимулов от центра к краям экрана; уменьшение сетчаточных изображений может свидетельствовать либо об уменьшении воспринимаемого объекта, либо об увеличении расстояния до него;

- аккомодационные сигналы о расфокусировке сетчаточных изображений с удалением точки фиксации взора (на объекте) от экрана свидетельствуют об удалении наблюдаемого виртуального объекта от плоскости с тестовыми изображениями в ту или иную сторону.

Как видно, в условиях измерения фузионных резервов наблюдается расхождение не только сигналов аккомодации и конвергенции, но и других сигналов. Можно думать, что зрительные системы разных испытуемых придают разным противоречиям разный вес и, селективно игнорируя наименее существенные с точки зрения индивидуального опыта, формируют разные видимые образы. В плане проведённого исследования особого внимания заслуживают механизмы оценки позиции по углу конвергенции, на которых основаны некоторые офтальмологические процедуры [4], но роль которых нередко преуменьшается, хотя она наглядно продемонстрирована ещё Брюстером в иллюзии обоев [8]. Более того, в стереофильмах наиболее зрелищные спецэффекты с выходом объектов в зал и сильным приближением к зрителю, также основаны на роли конвергенции.

В отличие от исследованной в данной работе искусственной ситуации, при обычном наблюдении реальной сцены воспринимаемый образ всегда кодируется геометрически корректной стереопарой – изображениями на сетчатках левого и правого глаза, меняющимися в точном соответствии с движениями и трансформациями реальных объектов. Эта сетчаточная стереопара точно соответствует позициям объектов относительно наблюдателя, состоянию аккомодации и направлению взора. Полученные данные указывают на необходимость сделать измерение фузионных резервов более комфортным, по возможности устранив часть противоречий – например, адекватно меняя размеры тестовых стимулов во время тестовой процедуры. Методику измерения фузионных резервов нужно модифицировать таким образом, чтобы испытуемые не распадались на категории, а единообразно реагировали на тест. С другой стороны, нужен отдельный «тест на категорию», поскольку выявленные особенности разных испытуемых могут коррелировать с вероятностью появления у них дискомфорта при просмотре фильмов в формате 3D. ■

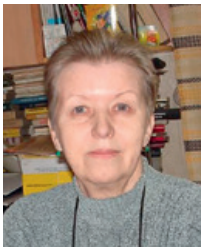
Авторы выражают благодарность Е.К. Крутцовой за техническую помощь.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. *Большаков А.С., Рожкова Г.И.* Интерактивная тестовая программа для оценки состояния и тренировки фузионных механизмов бинокулярного зрения ФУЗИЯ. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013610975 от 09.01.2013.
2. *Васильева Н.Н., Рожкова Г.И.* Возрастная динамика фузионных резервов, измеренных при помощи циклопических тест-объектов с маркерами // Сенсорные системы. 2009. Т. 23. № 1. С. 40–50.
3. Зрительные функции и их коррекция у детей: Руководство для врачей / Под ред. С.Э. Аветисова, Т.П. Кащенко, А.М. Шамшиновой. – М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2005. С. 76.
4. *Рабичев И.Э., Соловьева В.В., Саляева А.Р.* Метод бинариметрии в оценке фузионных резервов // Офтальмоэргономика и оптометрия. М.: Наука, 1988. С. 94–98.
5. *Рожкова Г.И.* Бинокулярное зрение // Физиология зрения / Под ред. А.Л. Бызова. М.: Наука, 1992. С. 586–664.
6. *Рожкова Г.И., Васильева Н.Н.* Компьютерный метод оценки фузионных резервов с объективным контролем нарушения фузии // Физиология человека. 2010. Т. 36. № 3. С. 135–137.
7. *Рожкова Г.И., Васильева Н.Н., Рожков С.Н.* Фузионные способности человека и возможности расширения диапазона параллаксов в стереофильмах без нагрузки на зрительную систему // Мир техники кино. 2009. № 2. С. 11-15.
8. *Brewster D.* On the knowledge of distance given by binocular vision. Trans. Royal Soc. Edin. 1844. Vol. 15. P. 663–674.
9. *Cooper J.S., Burns C.R., Cotter S.A., Daum K.M., Griffin J.R., Scheiman M.M.* Care for the patient with accommodative and vergence dysfunction // Optometric clinical practice guideline. U.S.A.: Healthy Vision, 2000.
10. *Howard I. P., Rogers B. J.* Perceiving in depth. Vol. 2. Stereoscopic vision. Oxford: Oxford University Press, 2012. 635 p.

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТНО-ЗАВИСИМОЙ АМПЛИТУДНОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ усилителей сигналов звуковой частоты.

Часть 1: Предпосылки разработки



Л.С. Тихонова, *at_kte@mail.ru*, к.т.н, СПбГИКиТ, РФ

Аннотация

Цикл из двух статей посвящён вопросам разработки способа измерения нелинейных искажений сигналов звуковой частоты, вносимых усилителями при работе с быстроизменяющимися сигналами большого уровня в сочетании с высокочастотными сигналами слабого уровня, позволяющего снизить суммарную погрешность измерений, трудоёмкость измерений и расчётов по сравнению со стандартизованным методом.

В данной статье рассмотрена предыстория вопроса измерения нелинейных искажений, подробно представлен стандартизированный метод измерения динамических интермодуляционных искажений.

Ключевые слова: способ измерения, нелинейные искажения, усилитель, сигналы звуковой частоты

THE METHOD OF MEASURING THE FREQUENCY-DEPENDENT AMPLITUDE NONLINEARITY OF THE AMPLIFIERS OF AUDIO SIGNALS.
PART 1: BACKGROUND DEVELOPMENT

L. Tikhonova, at_kte@mail.ru, Ph.D, SPbGIKUCT, Russia

Abstract

A series of two articles devoted to the development of a method of measuring the nonlinear distortion of audio signals introduced by the amplifiers when working with rapidly changing signals of a high level in combination with high-frequency signals are of low level, allowing to reduce the total measurement error, the complexity of measurements and calculations compared to the standardized method.

This article describes the background to the measurement of nonlinear distortions, presented in detail a standardized method for measuring dynamic intermodulation distortion.

Keywords: measurement method, nonlinear distortion, amplifier, audio frequency signals

Введение

Оценка нелинейных искажений по сей день остаётся актуальной проблемой, несмотря на большое количество посвящённых ей исследований и предложений методов и способов измерения. Побудительной причиной проведения новых изысканий в большинстве случаев является отсутствие однозначного соответствия субъективной заметности нелинейных искажений результатам объективного контроля, проводимого тем или иным путём. В частности, это можно объяснить тем, что большинство

методов не затрагивает оценку продуктов нелинейности, появление которых обусловлено неравномерностью частотной характеристики испытуемого устройства, т.е. наличием линейных искажений. Однако более детальный анализ разработок позволил выявить любопытные факты попыток предложения методов, пытающихся учесть возможный частотно-зависимый характер амплитудной нелинейности объекта измерения.

Первая часть статьи посвящена рассмотрению одной из таких попыток решить указанную проблему на «государственном уровне» введением в измерительную практику метода измерения, использующего испытательный сигнал, имитирующий совместное звучание барабана и флейты («барабан-флейта»). Это позволяет тестировать наличие частотной зависимости амплитудной нелинейности усилителей сигналов звуковой частоты, усугубляющей величину вносимых усилителями нелинейных искажений при работе с быстроизменяющимися сигналами большого уровня в сочетании с высокочастотными сигналами слабого уровня. Однако стандартизированный метод обладает рядом существенных недостатков, чреватых высокой трудоёмкостью измерительного процесса и сложностью вычислительной процедуры, к тому же приводящих к значительной величине суммарной погрешности измерений.

Вторая часть статьи содержит описание усовершенствованного измерительного способа и устройства для его осуществления, обладающего упрощёнными измерительной и вычислительной процедурами, а значит, имеющего более низкую суммарную погрешность измерений.

Предыстория вопроса

В «стародавние» времена был издан нормативный документ, утвердивший в техническом обиходе четыре метода оценки нелинейных искажений, обусловленных амплитудной нелинейностью усилителей сигналов звуковой частоты – ГОСТ 23849-87. АППАРАТУРА РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ БЫТОВАЯ. Методы измерения электрических параметров усилителей сигналов звуковой частоты [1].

Ниже приведём перечень, в котором представлены виды продуктов искажений, которым уделил внимание означенный документ, с сохранением его названий и порядка следования методов, однако в скобках и курсивом дадим общепринятые и широко известные названия трёх из четырёх «узаконенных» методов:

1. Общие гармонические искажения и гармонические искажения n-го порядка (*метод гармоник*).
2. Интермодуляционные искажения n-го порядка (где n=2 или 3) (*метод взаимной модуляции*).
3. Динамические интермодуляционные искажения.
4. Частотно-разностные искажения n-го порядка (где n=2 или 3) и общие частотно-разностные искажения (*метод разностных тонов*).

Первые два и четвёртый методы используют в качестве испытательного сигнала гармонический или сумму двух гармонических сигналов. Третий означенный метод использует так называемый характеристический испытательный сигнал, обладающий рядом неоспоримых преимуществ и образованный суммой сигналов гармонической и прямоугольной форм.

Использование характеристического сигнала направлено на диагностику частотной зависимости амплитудной нелинейности испытуемого усилителя. Выявляемые искажения получили название динамических интермодуляционных искажений (ДИМИ), что прямым образом проецируется на форму используемого испытательного сигнала, хотя в технических источниках можно встретить и другие термины, относящиеся к подобным искажениям.

ДИМИ проявляются в режиме усиления большого быстроизменяющегося сигнала, каковым является сигнал прямоугольной формы высокого уровня, диагностирующий наличие спада частотной характеристики в области высоких частот, а количественно выразить присутствие амплитудной нелинейности помогает наличие гармонического сигнала с меньшим уровнем.

Мерой нелинейных искажений выступают продукты взаимной модуляции многочисленных частных составляющих сигнала прямоугольной формы с первой и высшими гармониками искажённого, но первоначально гармонического сигнала. Наличие сигнала прямоугольной формы сродни используемому на практике звуку лопнувшего воздушного шарика для оценки воспроизводимого звукотехническим устройством частотного диапазона.

Присутствие в испытуемом усилителе механизма возникновения ДИМИ особенно отчётливо заметно при воспроизведении громких быстроизменяющихся звуковых сигналов, подобных в частности (как ни странно) звучанию аплодисментов, приобретающих «кашеобразное» звучание. Предложенную форму характеристического испытательного сигнала можно определить как попытку имитации созвучия «барабан-флейта», т.е. связать форму сигнала в виде суммы сигналов прямоугольной и гармонической форм с формой реального сигнала, способного вызвать к действию механизм возникновения искажений.

Отметим, что появление третьего стандартизованного метода в упомянутом документе 1987 года [1] имеет историческую предпосылку. В 70-х годах прошлого столетия (звучит настораживающе при обосновании «новизны» подхода к решению вопроса) произошла активизация в сфере разработки измерительных технологий, что было вызвано широким распространением интегральных схем, в том числе, осуществляющих усиление сигналов звуковой частоты. Схемотехнические приёмы, используемые при проектировании усилителей, привели к однотипности модели устройства: нелинейный и инерционный канал прямого усиления, охвачен цепью глубокой общей отрицательной обратной связи. Это, в свою очередь, привело к парадоксальному сочетанию отличных качественных показателей усили-

телей в режиме усиления сигнала малого уровня и крайне низкому их уровню в режиме усиления переходной стадии сигнала большого уровня.

Специфика предложений новых испытательных сигналов заключалась в стремлении раскрыть перегрузочную способность входных каскадов усилителей, т.е. способность качественно передавать громкие быстроизменяющиеся звуковые сигналы. При неадекватной перегрузочной способности входных каскадов возникает кратковременная потеря усилителем способности воспроизводить другие составляющие сигнала, что влечёт за собой резкий рост их нелинейных искажений, вплоть до кратковременного полного исчезновения.

Одно из таких предложений, выдвинутое группой авторов во главе с М. Отала, вошло в упомянутый ГОСТ в качестве третьего перечисленного выше измерительного метода [2].

В завершение исторической справки отметим активную работу в вопросах измерения искажений, в том числе и ДИМИ, проведённую ранее и проводимую в настоящее время кафедрой радиотехники и информационных технологий СПбГИКиТ (прежде – кафедра технической электроники ЛИКИ). Некоторые результаты этой работы нашли своё отражение в виде совершенствования измерительного метода, предложенного группой М. Отала [3].

Ниже приведём детальное представление стандартизованного метода, чтобы указать на его недостатки и предложить нововведения. Отметим, что предпочтём использовать понятие «способ измерения» в отношении описываемого предложения, как отвечающее более низкой ступени иерархии в квалификации подходов к различного рода измерениям, в том числе, измерениям нелинейных искажений электрического сигнала, и затрагивающее лишь отдельные детали процесса, без вмешательства в основополагающие принципы метода измерения, каковыми в данном случае являются использование суперпозиции двух разнохарактерных сигналов и оценка продуктов их взаимной модуляции.

Описание стандартизованного метода

Метод измерения динамических интермодуляционных искажений электрического сигнала заключается в подаче на вход объекта измерения суперпозиции сигналов. Один из них представляет собой сигнал гармонической формы частотой f_S, а другой – сигнал прямоугольной формы частотой f_q, при частоте f_S много больше частоты f_q и отношении пиковых значений сигналов 1:4, в оценке и сравнении среднеквадратической суммы интенсивностей интермодуляционных составляющих выходного сигнала объекта измерения, попадающих в звуковой диапазон ниже частоты f_S, и интенсивности опорного выходного сигнала, полученного при подаче на вход объекта измерения только сигнала гармонической формы с пиковым значением, равным пиковому значению суперпозиции сигналов [1, п.4.6.4, приложение 6 и черт.14].

Значения частот продуктов интермодуляции $mf_S \pm nf_q$, где m и n – целые числа, приведены в [1, приложение 6] и получены как результат взаимодействия гармонического сигнала частотой f_S с первой по девятую гармоники прямоугольного сигнала частотой f_q, общим счётом девять составляющих. Структурная схема измерительного устройства для осуществления стандартизованного метода представлена на рис. 1.

Установка содержит два генератора 1 и 2. Один из них – генератор 1 сигналов гармонической формы, другой – генератор 2 сигналов прямоугольной формы. Генераторы подключаются к разным входам суммирующего устройства 4 с помощью двух переключателей S1 и S2, причём спектр сигнала генератора сигналов прямоугольной формы ограничивается фильтром 3 нижних частот. Измеряемый усилитель 5 и вольтметр 6 среднеквадратических значений подключаются к выходу суммирующего устройства. Эквивалент нагрузки 9, вольтметр 7 среднеквадратических значений и спектроанализатор (или селективный вольтметр) 8 подключаются к выходу измеряемого усилителя [1, черт.14].

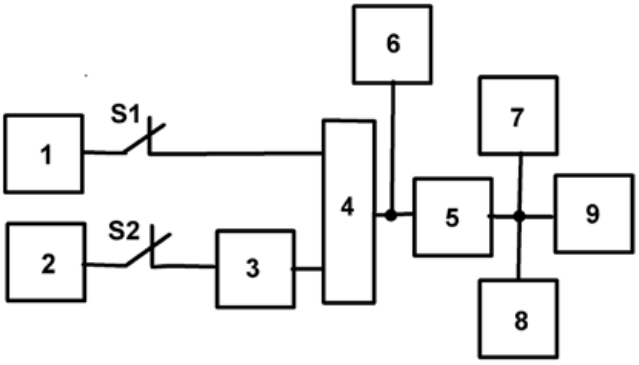


Рис. 1. **Структурная схема измерительной установки**

Наличие в суперпозиции сигнала с прямоугольной формой волны, обладающего резкими положительными и отрицательными перепадами, а значит, имеющего широкий спектр частот, позволяет исследовать частотную зависимость амплитудной нелинейности объекта измерения, так как вызывает появление продуктов интермодуляции в спектре искажённого сигнала в окрестности высокой частоты гармонического сигнала f_S, если амплитудная нелинейность (вплоть до ограничения уровня сигнала) входных каскадов объекта измерения проявляется на перепадах сигнала прямоугольной формы с низкой частотой следования f_q.

Однако методу присущи недостатки как на стадии формирования испытательного сигнала – сигнала суперпозиции, так и на стадии получения и обработки результатов измерений.

Сигналы суперпозиции не синхронизированы друг с другом, так как имеют некратное отношение частот следования: f_q=3150 Гц, f_S=15 кГц. Это принципиальное условие способа-прототипа, обусловленное необходимостью максимального разнесения продуктов интермодуляции

различных порядков в спектре выходного сигнала объекта измерения. При этом условии облегчается проведение косвенных измерений с помощью анализатора спектра или избирательного вольтметра, требующих определения интенсивностей всех продуктов искажений, попадающих в звуковой диапазон ниже частоты f_S. Отсутствие кратности (некратность) частот следования сигналов суперпозиции делает показания регистрирующего прибора функцией времени, т.к. глубина амплитудной модуляции выходного сигнала зависит от фазы гармонического сигнала суперпозиции в моменты суммирования с перепадами сигнала прямоугольной формы. При фазе, равной нулю или кратной 2π (в случае суммирования сигнала гармонической формы с положительным перепадом сигнала прямоугольной формы) и кратной π (в случае суммирования с отрицательным перепадом), глубина модуляции будет максимальной. При повороте фазы сигнала гармонической формы – глубина модуляции будет минимальной, при промежуточных значениях фазы глубина модуляции будет принимать промежуточные значения. Указанное свидетельствует о наличии методической погрешности, снизить влияние которой можно лишь многократным повторением эксперимента и использованием аспектов теории вероятностей применительно к обработке результатов и выполнению расчётов.

К тому же стандартизованный метод предполагает проведение косвенной процедуры измерений, для чего в устройстве используется либо спектроанализатор, либо избирательный вольтметр. Согласно [1, приложение 6], измерению интенсивностей подлежат девять продуктов интермодуляции на указанных частотах. Далее проводятся расчёт значения среднеквадратической суммы интенсивностей составляющих и расчёт отношения этой суммы к интенсивности опорного выходного сигнала.

Для определения опорного выходного напряжения U_0, по отношению к которому проводятся расчёты, на вход объекта измерения подаётся только сигнал гармонической формы с максимальным значением, равным пиковому значению сигнала суперпозиции от двух генераторов, и измеряется значение сигнала на выходе объекта измерения.

За результат измерения принимается значение искажений, вычисляемое по формуле

$$d = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{9} U_i^2}}{U_0} \cdot 100\%, \qquad (1)$$

где U_i – напряжение i-ой составляющей интермодуляции; U_0 – опорное выходное напряжение.

Процедура измерений требует многократной перестройки блоков измерительной установки, снятия многочисленных показаний и выполнения трудоёмких расчётов для определения количественной оценки искажений. Названные операции сопровождаются субъективными, аппаратурными и внешними погрешностями, вместе составляющими суммарную погрешность измерений значительной величины.

Ещё раз отметим недостатки рассмотренного выше метода: высокая трудоёмкость процедуры измерений и расчётов, а также наличие сопутствующих им погрешностей различного характера. При этом измерительная установка, схема которой представлена на рис. 1, не предоставляет возможностей уменьшения суммарной погрешности измерений и снижения трудоёмкости измерительной процедуры и расчётов. Конкретно это относится, во-первых, к отсутствию возможности строгой синхронизации форм сигналов суперпозиции, поскольку используются два автономных генератора сигналов гармонической и прямоугольной форм, не имеющих средств синхронизации совместной работы. Во-вторых, к отсутствию возможности перехода к прямой процедуре измерений, требующей дополнительной обработки выходного сигнала объекта измерения.

На устранение выявленных недостатков и были направлены усилия при усовершенствовании подхода к решению задачи измерения ДИМИ, возникающих в звукотехнической аппаратуре, схемотехническое воплощение которой имеет определённые «пагубные» решения [3]. ■

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. ГОСТ 23849-87. АППАРАТУРА РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ БЫТОВАЯ. Методы измерения электрических параметров усилителей сигналов звуковой частоты [Текст]. – М.: Изд. стандартов, 1990.
2. *Leinonen E., Otala M., Curl J.* A Method for Measuring Transient Intermodulation Distortion [Text]. – JAES, 1977, № 4, p. 170-177.
3. Патент РФ на изобретение № 2 566 386 (RU 2 566 386 C1). МПК G 01R 23/20 (2006.01). Способ измерения динамических интермодуляционных искажений электрического сигнала и устройство для его осуществления [Текст] / *Тихонова Л.С.*; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский государственный университет кино и телевидения. – №2014116335, 22.04.2014. Опубл. 27.10.2015, бюл. № 30.

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ СПЕЦЭФФЕКТОВ в стереофильмах

И.Г. Дауров, *daurov@mail.ru*, оператор-стереограф, студия «DAUROV-STEREO», РФ

Аннотация

На примере практической работы автора в сфере малобюджетного стереокино рассмотрены некоторые аспекты, специфика и особенности применения визуальных спецэффектов (VFX) в стереоскопическом кинематографе. Приведены примеры и показаны средства реализации часто используемых в стереокино визуальных спецэффектов доступными инструментами. Даны практические рекомендации по реализации визуальных спецэффектов во избежание ошибок как при съёмке, так и на стадии цифровой обработки и монтажа.

Ключевые слова: визуальные спецэффекты в стереокино, VFX, стереокино, 3D кино, пространство стереоизображения, хромакей.

THE PRACTICE OF APPLYING VISUAL EFFECTS IN STEREOSCOPIC CINEMA

I. Daurov, daurov@mail.ru, operator-stereographer, studio «DAUROV-STEREO», Russia

Abstract

For example, practical experience of the author in the field of low-budget stereoscopic discussed some aspects, the specificity and application of visual effects (VFX) in stereoscopic cinema. The examples shown and means of implementation are often used in stereoscopic visual effects available tools. Practical recommendations are given to avoid mistakes in the implementation of visual special effects – both during shooting and at the stage of digital processing and editing.

Keywords: visual effects of the stereoscopic, VFX, stereoscopic, 3D movie, chroma key.

■ Спецэффекты в кинематографе появились практически сразу после его изобретения. Сегодня в эру цифровых технологий съёмки и кинопроизводства любые искусственные вмешательства в визуальную информацию можно назвать спецэффектом (англ. special effect, сокр. SPFX, SFX, или FX). Ещё употребляют термин «визуальные и специальные эффекты» в кино (англ. Visual and Special Effects, сокр. VFX). По сути, все эти термины включают в себя целый ряд понятий, приёмов, специальных технологий, которые более 100 лет известны кинематографистам, работавшим как с киноплёнкой, так и с цифровыми регистраторами и носителями визуальной информации.

Средства стереоскопического кинематографа – это метод усиления художественной выразительности, новый язык кино, и эти возможности не могут не заинтересовать современного художника, так как ему предоставляются совершенно неизведанные инструменты образного и эмоционального воздействия на зрителя. Визуальные спецэффекты – один из способов создать такие художественные образы.

Кинооператору, художнику, специалистам по визуальным эффектам, помимо целого арсенала специфических знаний, необходимо учитывать ещё и особенности стереосъёмки, так как она ведётся одновременно с двух ракурсов, а не с одного, как в плоскостном кино.

Главная проблема невозможности применения в стереокино ряда известных в традиционном плоскостном кино спецэффектов состоит в том, что большинство их построено на принципе перспективного совмещения, возможного только при одноракурсной съёмке. Стереосъёмка делает невозможным использование впрямую многих привычных в традиционном кино методов комбинированных съёмок, так как помимо одного здесь мы имеем второй ракурс съёмки, а это сразу разоблачит перед зрителем все традиционные построения визуальных спецэффектов, все искусственные объекты (например, домакетки и дорисовки), неизбежно разрушит иллюзию реальности визуального ряда в пространственной стереокартине.

Основной задачей при создании визуальных спецэффектов в стереокино становится необходимость согласования сложной композиции кадра, состоящей из реальных и привнесённых объектов, по стереоскопическим параметрам между собой, т.е. по характеру передачи третьего измерения. Например, дорисовки могут представлять собой стереопару, сгенерированную компьютерной программой – 3D редактором. Этот редактор моделирует левый и правый ракурсы стереопары, параметры которой должны быть согласованы с параметрами исходной стереопары с реальными объектами, в которую эта дорисовка включается. Традиционные в плоскостном кино домакетки и перспективные совмещения (выполненные в миниатюре части огромных сооружений), размещаемые вблизи объектива камеры, можно использовать и в стереокино, но не в момент съёмки всей сцены, а уже после – путём отдельной стереосъёмки макетов и последующего компьютерного совмещения стереопар таких объектов со стереопарами реальной сцены. При этом базис стереосъёмки должен рассчитываться отдельно для каждой сцены с учётом масштаба домакетки.

Необходимо также помнить, что при внедрении любых посторонних объектов в исходную стереопару нужно соблюдать соответствие параметров по цвету, свету, контрасту в левом и правом ракурсе, учитывать их точное пространственное положение в каждом конкретном плане и в конкретной мизансцене, а для движущихся объектов обеспечить полную синхронность.

Практическое применение визуальных спецэффектов в малобюджетном стереокино показано на примере кадров из стереофильма «Восток»*), ставшего победителем на VI Международном кинофестивале 3D кино «3D FEST» (Москва, РФ) и получившего награду «Lumiere Awards» на Международном кинофестивале International 3D festival, 2015 (Liège, Бельгия). В приводимом примере рассмотрено применение в кино известной технологии под названием хромакей (от английского chroma key – цветовой ключ). Хромакей позволяет решать многие задачи при работе с визуальными спецэффектами, к примеру – заменять или корректировать фон позади актёров на любое изображение, производить морфинг (манипуляции с геометрией предметов и актёров без изменения окружающего их пространства), помещать актёров в фантастические миры и т.д.

На фото 1 видно, что изначально в исходном кадре не было портьеры на заднем фоне, а в итоговом кадре – нет стула. Портьера (фото 6) на заднем плане – это простое фото, размещённое в левом и правом ракурсе стереопары с необходимым параллаксом, позволяющим верно позиционировать фото этой портьеры в пространстве снимаемой сцены. Значительное пространственное удаление от камеры этого привнесённого объекта (портьеры), малая степень её рельефности, а также то, что зрительское внимание удерживается на актёре, который ближе к стереокамере, позволяет использовать не стереопару портьеры для дорисовки, а обычное моноракурсное фото. Часть стола и ноутбука (фото 5) – это тоже маска-дорисовка в виде стоп-кадра левого и правого ракурса реального интерьера, но взятая без героя с частью предметов комнаты.

Пример формирования сложно-постановочного визуального спецэффекта в стереокино, выполненного при помощи программы Adobe AE, с применением масок, свето- и цветокоррекции, дорисовки новых объектов, хромакея и морфинга.

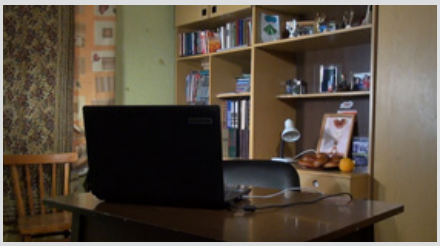


Фото 1. **Ракурс исходной стереопары**

Фото 2. **Работа с хромакеем и геометрией кадра в редакторе Adobe AE**

Фото 3. **Применение плагина Mesh Warp в редакторе Adobe AE**

*) «Восток» – короткометражный музыкальный стереофильм, студия «DAUROV-STEREO», оператор-стереограф Игорь Дауров

В итоговом кадре (фото 4) изменился также и характер света в сцене, и общая колористика – это результат работы с плагинами программы Magic Bullet Looks непосредственно в редакторе Adobe Premiere Pro. Затенение кадра по его краям – приём, который позволяет снизить отжимающее действие рамки экрана, придать кадру внутреннюю драматургию, камерность, подготовить зрителя к «чуду», сконцентрировать его внимание на сюжетно важном объекте для создания визуально спецэффекта иллюзии «втягивания героя в экран компьютера». Данный спецэффект выполнен средствами программы Adobe AE (фото 3), где использован плагин Mesh Warp, параметры которого были установлены вручную по левому ракурсу исходной стереопары, а потом применены и для правого ракурса – посредством слоя Adjustment Layer. Применение зелёного хромакея позади актёра (фото 8) позволило не затронуть геометрию фона, который не должен был искажаться вслед за изменением пластики изображения актёра.

Вот как выглядели некоторые компоненты в виде дорисовок, масок и масок-фото отдельно и собранные на тайм-лайн (фото 7) монтажной программы Premiere CS6. Отдельно показан фрагмент рабочего поля окна секвенций программы со всеми слоями видео, а их в данном случае 12, а также картинки масок и фото-дорисовок, задействованных для реализации визуальных спецэффектов VFX данного кадра.

Следующий, часто применяемый в кино приём, – съёмка двойников персонажа или игра актёра в одном кадре с его же уменьшенной в масштабе копией. Например, нам нужно в стереофильме получить двойника главного персонажа, но в многократно уменьшенном размере, чтобы тот умещался на ладони героя и мог с ним взаимодействовать в пространстве реально снимаемой сцены (фото 11). К примеру, наш герой играет на синтезаторе и вдруг видит, что на этот самый синтезатор вскарабкивается маленький человечек – копия его самого. Незваный гость делает несколько шагов, что-то говорит герою, потом становится на ладонь нашего героя, тот его подносит ближе, рассматривает, а затем возвращает на поверхность синтезатора. Лилипут уходит, спрыгивая с синтезатора... Для этого кадра необходимо было вначале отснять сцену с главным героем (фото 9), который по команде режиссёра выполняет все действия с мнимым

Фото 4. Итог применения визуальных спецэффектов VFX к сцене на фото 1 и 2. Кадр из музыкального 3D фильма «Восток». Смотреть с применением анаглифных (красно-синих) очков.

Элементы сборки постановочного визуального эффекта «втягивание героя в экран ноутбука»

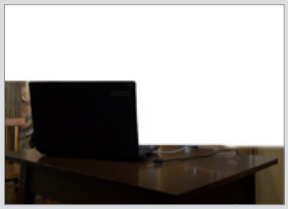


Фото 5. **Часть ракурса исходной стереопары**

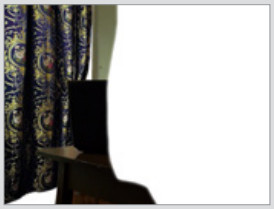


Фото 6. **Портьера-дорисовка и маскирующий её край экрана ноутбука**

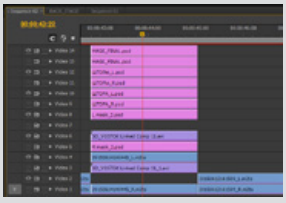


Фото 7. **Шесть стереопар в Premiere CS6**

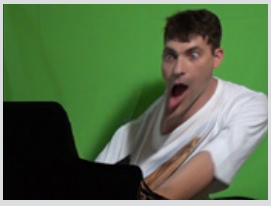


Фото 8. **Работа с редактором Adobe AE и технологией хромакей**

Фото 9. **Исходный ракурс стереопары с синтезатором**

Фото 10. **Съёмка с использованием технологии хромакей**

Фото 11. **Итоговая стереопара с уменьшенным двойником героя. Смотреть с применением анаглифных стереоочков**

персонажем-лилипутом. Затем, с учётом реального масштаба поверхности синтезатора, нужно было в павильоне построить декорацию (фото 10), для которой мы использовали обычные столы, покрытые зелёной тканью и наклонённые под тем же углом, что и поверхность синтезатора в момент съёмки к стереокамере. Актёр должен был проделать все те движения, что предполагались (включить запись видео уже отснятой сцены и вывести на монитор, видимый актёру).

Необходимо было помнить, что базис съёмки основной стереопары был равен 32 мм при F28 объектива стереокамеры Sony NX-3D, дистанция рампы 1.5 м. Если мы хотим уменьшить героя в разы, то соответственно и базис стереосъёмки, и дистанцию рампы мы должны увеличить пропорционально, чтобы сохранить пространственно-пропорциональную передачу третьего измерения лилипута как реально воспринимаемую, а не плоскую или синтезированную картинку, размещённую в пространстве сцены. В данном случае базис стереосъёмки лилипута был равен 190 мм при F28, дистанция рампы 5 м. Расчёт базиса исходил из того, что лилипут должен был визуально восприниматься ростом не более 25–30 см, т.е. мы в 5–6 раз уменьшаем его размер в сравнении с реальным ростом героя. Соответственно, и базис стереосъёмки объекта, который потом будет уменьшен в 5–6 раз по масштабу, должен быть в 5–6 раз больше исходного базиса съёмки, что и было реализовано. При этом съёмка должна вестись из такого же ракурса, что и при съёмке синтезатора с реальным героем.

В итоге, сняв несколько актёрских дублей, оставалось вырезать фон инструментом Ultra Key из средств Premiere CS6. Затем была внесена необходимая коррекция по цвету, свету и контрасту и проведено позиционирование лилипута в пространстве снимаемой сцены (покадровая установка горизонтального параллакса) с учётом параллаксов левого и правого ракурса исходной стереопары.

Хромакей широко используется в современном кино- и телепроизводстве, особенно в таких жанрах кино, как фантастика, фильмы ужасов, фильмы-сказки, фэнтези, и в таких видах кино, как научно-популярное, учебное и др. Эта технология позволяет извлечь (вырезать) одно изображение из другого, совместить два и более изображений, снятых в разных условиях и местах, в одной композиции, использовать приём рир-проекции (наложение на фон позади актёров изображения, снятого заранее) и другие эффектные трюки. Традиционно для съёмки применяют фон в виде синего или зелёного спектральных цветов (фото 13). Именно этих спектральных составляющих нет в цвете человеческого тела, а значит, на таком фоне актёры легко впишутся в комбинированный кадр без ущерба для общей визуальной картины (фото 12). На фото 14 приведён практический пример использования хромакея в стереокино – внедрение двойника героя, уменьшенного в масштабе, в пространственную композицию.

Фон (обычно это хлопковая ткань без эффекта глянца) должен быть равномерно и достаточно ярко освещён (приборами холодного рассеянного света). Это способствует хорошему вырезанию такого фона в монтажных редакторах инструментами из линейки Keying. Фон должен иметь спектрально синий или спектрально зелёный цвет.

Актёр или предмет на фоне хромакея должен освещаться отдельными световыми приборами, никак не связанными с освещением самого хромакея. Актёры в своей одежде и аксессуарах, а также декорации не должны иметь тот цвет, который является цветом хромакея или его оттенком. Световой рисунок для актёра должен иметь тот характер, который необходим для нового фона – взамен синего или зелёного, т.е. в соответствии с характером света и цветовой температуры в итоговом изображении.

Актёр или предмет должен быть отделён от фона хромакея контровым светом достаточной интенсивности (до того состояния, когда отражение цвета фона по контуру одежды или тела актёра исчезнет), а сам актёр или предмет должен располагаться как можно дальше от фона хромакея.

К сфере визуальных эффектов в кино можно отнести и работу с цифровым видеоматериалом по свето- и цветокоррекции. Светокоррекция – это термин, который пришёл в цифровую эру из профессионального кинематографа, как и термин цветокоррекция. Светокоррекцию применяют в случаях, когда яркость или контраст изображения конкретного плана имеют завышенные или заниженные параметры, а также в художественных целях, например, для получения нарочитого эффекта «засветки» или «переэкспозиции». В любом случае – исходный цифровой материал никогда не оставляют в неизменном виде, если речь идёт о профессиональном кино и телепроизводстве, а также о клипмейкерстве. В случае необходимости по техническим и художественным соображениям коррекции подвергаются последовательности обоих ракурсов стереопар.

Иногда один из ракурсов стереопары требует тонкой подгонки параметров изображения (баланс белого, свет и цвет, контраст и т.д.) ко второму ракурсу, параметры которого не соответствуют первому. Т.е. такая необходимость – отдельная работа с левым и правым ракурсом имеет место быть всегда – при использовании двухкамерной технологии съёмки стереофильмов. Именно двухкамерную технологию стереосъёмки используют сегодня американские и европейские киностудии, где один из ракурсов стереосъёмки получают отражением с поверхности полупрозрачного зеркала стереорига, а второй – фактически через нейтральный светофильтр, каковым является такое зеркало. Это один из существенных недостатков двухкамерной технологии стереокиносъёмки, который непреодолим ни при каких обстоятельствах, кроме как в случае отказа от этой технологии съёмки. Эта проблема приводит

Пример VFX с использованием технологии хромакей, свето- и цветокоррекции в фильме «Восток»

Фото 12. **Исходный ракурс стереопары**

Фото 13. **Съёмка «мини-Султана» на фоне хромакея**

Фото 14. **Итоговый стереокадр «Мини-Султан». Смотреть с применением анаглифных стереоочков**

к тому, что выполнить одно из главных технических требований к съёмке и восприятию физиологически комфортного стереоизображения, а именно – полную идентичность ракурсов стереопары по свету, цвету, контрасту, цветовой насыщенности и глубине резкости в кадре, при двухкамерной технологии стереосъёмки просто невозможно, несмотря на сложную и дорогостоящую работу при постпродакшн. Напомню, что наиболее удачная однокамерная профессиональная технология стереокиносъёмки, избавленная от этого и других недостатков двухкамерной технологии, была предложена в 1963 году и успешно применена в СССР – система «Стерео-70», которая имеет современный цифровой аналог: Phantom Z65 3D. Стереопары этой технологии идентичны по всем основным параметрам и не требуют какой-то особенной работы с каждым ракурсом, что экономит и время, и деньги, а главное – такая стереокартина физиологически комфортна для восприятия.

В монтажных средах светокоррекция достигается различными инструментами. Например, в Premiere Pro – это Luma Corrector, а также другие встраиваемые подпрограммы и плагины, например, плагин Colorista II, при помощи которого можно скорректировать правильное соотношение светов, степень контраста и проработки деталей в тенях, не затрагивая яркостные характеристики материала. При нарушении цветового баланса исходного материала применяют цветокоррекцию. К цветокоррекции прибегают и для установления требуемой насыщенности (интенсивности или оттенка) цвета в том или ином плане, а также в различных художественных целях, иногда даже намеренно искажая цветопередачу или вычленяя, удаляя или подменяя какой-то цвет из общей колористики кадра.

Заключение

В целом, применение VFX в стереокино открывает новые выразительные возможности, а вместе с этим даёт возможность говорить со зрителем на новом киноязыке. Использование возможностей и особенностей создания стереокиноматериала и восприятия стереоскопического изображения открывает совершенно новый этап в развитии VFX в кино. Например, использование «обратной перспективы» путём перестановки отдельных элементов в ракурсах исходной стереопары, снятых на хромакее или как макет, могут создать совершенно нереалистичные, иллюзорные миры. Многие продюсеры, не понимая специфики стереокино и его новых возможностей, снимают сложно-постановочные кинофильмы, изобилующие спецэффектами, созданными традиционными способами, а потом прибегают к конвертации уже готового материала в стереоформат. Это порочный и неверный путь. Ибо никакая конвертация не может заменить истинные возможности стереоскопии. И дело не в том, каким способом и насколько качественно выполнена конвертация, а в том, как изначально снимался визуальный ряд. Ибо снимать стереокино нужно совершенно по-иному, нежели кино традиционное. Отсюда и иная драматургия, принципиально иной подход к построению мизансцен, к движению в кадре, к постановке света.

Чтобы создавать мир чудес на экране, мир радости, за которыми и приходит зритель в кинозал, нельзя обойтись без грамотного и творческого применения специальных и комбинированных визуальных эффектов в стереокино. А для этого нужен постоянный эксперимент, поиски и открытия на этом всё ещё малоизведанном пути. ■

КОРОТКИЙ ВЕК ШИРОКОГО ФОРМАТА

Н. Майоров, режиссёр-оператор, киновед,
henrymay@mail.ru, cinemafirst.ru, РФ

Аннотация

Те, кто сказали, что плёнка умерла – очень поторопились. Те, кто давал команду демонтировать широкоформатные кинотеатры и перекроить огромные залы на многозальные клетушки с почти телевизионным экраном – не думали о будущем, превращая зрелище в заурядную «киношку» с диванами для влюблённых. Киноплёнка не умерла, и в свои 122 года доказала, что она живее всех живых. Широкий формат, породив IMAX, на время уступил дорогу молодому. Два десятка лет он скромно ждал своего часа, чтобы триумфально вернуться во всей своей максимальной ширине на новых сортах киноплёнки, присоединив к себе самый современный цифровой звук. Уже выросло целое поколение кинозрителей мультиплексов, даже не подозревающих, что когда-то было кино без попкорна и пепси, на огромном от пола до потолка, от стены до стены экране, с многоканальным окружающим звуком. Всё это уже история кинематографа, а может быть, и его будущее. Ведь всё новое – это хорошо забытое старое! Но хорошее старое надо сохранять, изучать, извлекать из него рациональное зерно и творчески применять и использовать. К сожалению, у нас немногие профессионально занимаются изучением истории отечественной кинематографической техники, а интернет множит и разносит по миру предположения и непроверенные факты, выдаваемые за истину. История кино, история кинотехники, история кинопроизводства, безусловно, интересна не только специалистам. Но и специалисты, и любители, занимаясь изучением истории, а тем более, публикацией своих изысканий, обязаны быть профессионалами, пусть это даже только хобби.

За тридцать лет широкоформатного кинематографа в нашей стране снято несколько сотен фильмов на 70-мм плёнке, ещё больше фильмов было выпущено в прокат как широкоформатные, хотя они таковыми не являлись. Нашим историкам и киноведам ещё предстоит огромная работа по научной систематизации и сверке всех отечественных широкоформатных картин, истории их создания. Предстоит огромная работа в архивах киностудий, Госфильмофонде, РГАКФД для создания близких к истине списков фильмов, как выпущенных на экраны страны в широкоформатном варианте, так и снятых на 70-мм негативной киноплёнке. Автор выражает надежду, что данная статья привлечёт внимание к этой теме.

Ключевые слова: киноплёнка, широкий формат

A SHORT CENTURY OF WIDE FORMAT

N. Mayorov, henrymay@mail.ru, cinemafirst.ru, Russia

Abstract

For thirty years of large-format cinema in our country a few hundred films on a 70-mm film were shot, even more films were released as large-format films, although they were not. Our historians and film critics still have a huge work on the scientific systematization and reconciliation of all domestic large-format paintings, the history of their creation. There is a huge work in the archives of film studios, Gosfilmofond, RGAKFD to create close to the truth lists of films as released on the screens of the country in a widescreen version, and shot on a 70-mm negative. The author expresses hope, that this article will draw attention to this topic.

Keywords: film, large format cinema.

(Продолжение. Начало в МТК № 2017-2(11))

■ Первое десятилетие освоения широкого формата позволило сделать анализ основных производственно-экономических показателей процесса создания фильма в сравнении широкоформатного с широкоэкранным и обычным фильмом, таких как продолжительность постановки, количество съёмочных дней, количество съёмочных объектов, число павильонных и натурных

декораций и их общая площадь, выработка съёмочных групп в полезном метраже за съёмочный день. По этим параметрам значительного отличия не наблюдалось. В то же время, по отдельным статьям сметы это отличие заметно, и в итоге, не менее чем в два раза превышает стоимость производства.

При постановке широкоформатных картин расходы только на киноплёнку возрастают более чем в два раза. Это относится и к магнитным плёнкам. Увеличиваются расходы на оплату услуг цехов технической базы киностудии:

- лабораторная обработка киноплёнки (рост расходов – в 5,5–6 раз);
- изготовление и приобретение постановочного инвентаря (в 2,8–3,2 раза);
- звукозапись и перезапись, а также звукооформление (в 2–2,5. раза);
- строительство декораций (в 1,5–1,7 раза);
- использование осветительной аппаратуры и расходование электроэнергии (в 1,5–2,5 раза).

Все эти расчёты относятся к обычным в постановочном плане фильмам, но они несоизмеримо вырастали при производстве таких отечественных исторических колоссов как «Освобождение», «Битва за Москву» и, конечно, «Война и мир».

«Война и мир» – самый дорогой фильм в истории советского кинематографа.

Но увеличение стоимости производства широкоформатных картин по отношению к широкоэкранным и обычным фильмам увеличивало и сборы от проката.

Мы уже упоминали, что одной из причин перехода на широкий формат с использованием 70-мм плёнки было желание увеличить не только ширину экрана, но вообще значительно увеличить всю площадь экрана. Качество 35-мм киноплёнки оставляло желать лучшего и, естественно, не могло обеспечить высококачественное изображение при значительном увеличении. В США и других западных странах плёночная промышленность в части улучшения качества делала в 60-годы семимильные шаги, чего нельзя сказать о нашей киноплёнке.

Поэтому в СССР первые эксперименты по переводу 35-мм широкоэкранных фильмов в широкоформатные начались с чёрно-белых плёнок.

Надо заметить, что один из первых широкоформатных фильмов «Оптимистическая трагедия» был снят на 70-мм чёрно-белой негативной плёнке и демонстрировался в чёрно-белом широкоформатном варианте. В 1963 году он стал лидером отечественного кинопроката, собрав 46 миллионов зрителей. Таким образом, выпуск на экран широкоформатных кинотеатров чёрно-белого фильма не вызвал неприятие зрителей.

Первым широкоэкранным фильмом, поменявшим свой формат в прокате, стал историко-биографический фильм «Ленин в Польше» режиссёра Сергея Юткевича. Это совместная постановка 1965 года киностудии «Мосфильм» и польского Творческого объединения ТО «Студио» в Варшаве, снятая в широкоэкранном варианте на 35-мм чёрно-белом негативе.

Как водилось в советские годы, выпуск фильма «Ленин в Польше» был приурочен к очередному дню рождения В.И. Ленина – 22 апреля. Накануне, 14 апреля 1966 года, фильм был выпушен на экраны страны массовым тиражом в оригинальном широкоэкранном варианте. А в московском панорамном кинотеатре «Мир» начала демонстрироваться широкоформатная чёрно-белая копия этого фильма. Конечно, в прессе факт перевода не рекламировался, но в то же время подчёркивалось, что в кинотеатре «Мир» демонстрируется именно широкоформатный вариант. Два года спустя такому особому выделению факта демонстрации фильма в широком формате удостоился фильм «Шестое июля», поставленный в 1968 году на киностудии «Мосфильм» режиссёром Юлием Карасиком по одноимённой пьесе Михаила Шатрова. Оригинальный формат этого фильма – 35-мм чёрно-белый широкоэкранный вариант.

Интересен порядок выпуска этого фильма на всесоюзный экран. 30 мая 1968 года состоялась премьера оригинального *широкоэкранного* варианта в московском *широкоформатном* кинотеатре «Россия». Осенью того же года, 14 октября, в московских широкоформатных кинотеатрах «Россия» и «Октябрь» началась демонстрация широкоформатного варианта, и только 4 ноября 1968 года фильм был выпущен в массовый прокат в широкоэкранном варианте по всей стране.

Первым цветным фильмом, снятым в широкоэкранном варианте, но выпущенным большим тиражом во всесоюзный прокат в широкоформатном варианте, стал фильм «Братья Карамазовы». Особо не афишировалось, но в журнале «Техника кино и телевидения» отмечалось, что фильм снят на плёнке высокого качества, позволившего изменить формат с широкоэкранного на широкоформатный. Название плёнки не упоминалось, но по подтексту можно было понять, что это была плёнка Kodak. Что и было именно так на самом деле. Режиссёр-постановщик фильма «Братья Карамазовы» Иван Александрович Пырьев добился получения 35-мм плёнки Kodak на эту картину, не желая мучиться с 70-мм плёнкой «Свема».

Московские любители кино могут упрекнуть автора этих строк в необъективности присвоения первенства фильму «Братья Карамазовы» в переводе его первым в широкий формат в цвете. И в какой-то степени будут правы, так как многие помнят, что ещё в ноябре 1968 года в кинотеатре «Октябрь» демонстрировался советский боевик «Новые приключения неуловимых» в широкоформатном варианте. И это было действительно так. Но найти каких-либо документальных подтверждений о выпуске этого фильма во всесоюзный прокат в широкоформатном варианте пока не удалось. В газете «Московская кинонеделя», где в 60-70 годы всегда указывали формат новых фильмов, фильм указан как цветной широкоэкранный. Вероятно, что это

был эксперимент «Мосфильма» по отработке технологии перевода фильмов в широкий формат. В дальнейшем десятки широкоэкранных фильмов разных киностудий нашей необъятной Родины становились широкоформатными, а кинозрители даже не подозревали, что платят двойную цену за «раздутый товар».

Процесс пошёл… В последующие годы не один десяток известных и любимых зрителями фильмов выпускался в прокат на 70-мм плёнке в широкоформатном варианте, будучи в оригинале широкоэкранным. Среди них: «Хозяин тайги» (1969), «Возвращение «Святого Луки» (1970), «Укрощение огня» (1972), «Трактир на Пятницкой» (1977) и др.

Внедрение широкоформатного процесса в кинопроизводство (помимо расширения возможности в реализации творческих замыслов постановщиков фильмов) дало ещё и возможность создания новых систем кинематографа.

Исследования НИКФИ по разработке методов комбинированных съёмок в широком формате, начатые для картины «Война и мир», в конечном итоге, помимо решения главной задачи, вылились в создание системы «Совполикадр», позволившей на высоком техническом уровне выпустить целую серию поли-вариоэкранных фильмов. Этой теме надо посвятить отдельный рассказ. А пока скажем, что начиная с апреля 1970 года, на экраны страны выпущено более двадцати таких картин. Первый из них – «Наш марш» на киностудии «Мосфильм» поставили режиссёры А. Шейн и А. Светлов. В 70–80 годы прошлого века практически ни одна крупная международная выставка не обходилась без демонстрации в павильоне СССР специально снятого по системе «Совполикадр» фильма.

Особое место в использовании широкоформатного процесса занимает разработка в начале 60-х годов новой отечественной системы стереоскопического кинематографа «Стерео-70», удостоенной в 1991 году премии «Оскар» за высокое качество (МТК №19, 2011). Начиная с первого игрового фильма «Нет и да», созданного на Мосфильме в 1966 году и выпущенного на экран в стереоварианте 30 апреля 1968 года, в общей сложности было снято 33 стереоскопических фильма разных жанров. Последний из них – «Московские этюды» был снят на киноплёнке уже в XXI веке, в 2003 году, но уже на плёнке 65-мм Kodak.

В 1994 году в России на 70-мм советской киноплёнке был снят последний, но не широкоформатный, а стереоскопический фильм «Рысь идёт по следу». До конца века ещё кое-где в СНГ по случаю докручивали «дырявые» копии широкоформатных фильмов. А кинопроизводство, там где оно ещё было живо, переходило на импортную высококачественную плёнку, не доступную многие годы мастерам отечественного кино.

Возрождение кинематографа не могло себе позволить роскошь расходов на широкоформатные постановки, да и уже не было технической базы. Негде было проявлять, печатать, монтировать и показывать. К началу XXI века практически не осталось широкоформатных кинотеатров и кинопроекторов. А те, которые были – доживали свой век.

Дело дошло до того, что даже в Госфильмофонде не на чем было посмотреть широкоформатный фильм, не говоря уже о том, чтобы напечатать копию. Хорошо, что большинство широкоформатных фильмов выпускались в широкоэкранном формате и сохранились их 35-мм лаванды или контратипы. Но ряд 70-мм фильмов были выпущены только на 70-мм копиях и не имели вариантов в другом формате. Поэтому настоящим событием стала организация в Госфильмофонде России участка цифровой работы с фильмовыми материалами и приобретение универсального устройства для оцифровки киноматериалов практически всех форматов.

30 января 2009 года стало вторым днём рождения широкого формата в России. В этот день на традиционном

70-мм позитив. Кадр из варио-поликадрового фильма «Песня о Родине» (1982)

Кадр из стереофильма «Рысь идёт по следу» на 70-мм позитивной плёнке (1994)

кинофестивале архивного кино в подмосковных «Белых столбах» на суд участников и гостей фестиваля был представлен восстановленный в Госфильмофонде России на новом оборудовании широкоформатный фильм «Первороссияне». Снятый в 1966 году и выпущенный в прокат ограниченным тиражом только на 70-мм плёнке, фильм более чем через сорок лет вернулся вновь к зрителям. В России началась новая история – история восстановления широкоформатных фильмов и возвращения их зрителям в новом цифровом качестве. Фильм «Первороссияне» был включён в программу «Социалистический авангардизм» 31 Московского международного кинофестиваля и 20 июня 2009 года был показан кинозрителям с цифрового носителя в зале №3 мультиплекса «Октябрь».

Владимир Николаевич Котовский – начальник участка цифровой обработки фильмовых материалов и его небольшой коллектив профессионалов уже вернули к новой цифровой жизни не один 70-мм фильм из собрания Госфильмофонда РФ. А сколько их всего было снято в СССР и снято именно в широкоформатном варианте на 70-мм киноплёнке?!

Мы точно знаем, что по системе «Стерео-70» на 70-мм плёнке «Свема» было снято 32 фильма и один на 65-мм «Kodak». Мы точно знаем, что на 70-мм «Свема» снято не менее 25 фильмов по системе «Совполикадр».

А сколько же всё-таки было снято именно широкоформатных фильмов в оригинальном формате на 70-мм. Этот вопрос ещё остаётся открытым.

В советской открытой печати никогда не писали об исходных материалах, на которых снимались отечественные фильмы. Только в 80-годы начали упоминать в титрах на плёнке, на какой советской фабрике снят фильм, но не формат плёнки и систему съёмки. Для установления истинного формата того или иного фильма нужна огромная многолетняя работа в архиве Госфильмофонда, с архивными материалами на киностудиях: необходимо перелопатить приказы о запуске фильма в производство, акты приёмки готового фильма и кучу других производственных материалов для того, чтобы сказать, что фильм снимался именно в этом 70-мм, а не в другом формате!

Для того чтобы создать каталог отечественных фильмов, снятых на плёнке 70-мм, надо изучать картотеку ОТК Госфильмофонда и дела по исходным материалам к каждому фильму. Но и тогда не всё удастся получить, т.к. не все фильмы сдавались в полном комплекте. И не всегда есть полная история негатива.

Пример: картина «Человек, которого я люблю» (цв) (1966) – была сдана 70-мм лаванда и 35-мм широкоэкранный негатив с полным комплектом – нег. изо, нег. фоно, лаванда, позитив, магнитка. Какой вывод на основании такой информации мы можем сделать сегодня?

А вариантов ответа несколько.

1. Фильм выходил и в широкоформатном, и в широкоэкранном вариантах, и тут спорить не о чем.

2. А вот второе – это большой вопрос. 70-мм лаванда с чего? С 70-мм негатива или с 35-мм анаморфированного? А в каких форматах фильм вообще снимался? Только в 35-мм, потому что есть негатив-оригинал. Или в 35-мм и 70-мм. Но 70-мм негатив не сохранился по каким-то причинам, или не был сдан. Ответ на этот вопрос не даст ни один из перечисленных источников. И уж тем более, работники кинопроката и киномеханики. Ответ можно получить только из дела фильма на студии: приказов о запуске в производство, финансовых отчётов о плёнке и так далее, пройдя по всей технологической производственной цепочке.

Вот ещё пример. «Повесть пламенных лет» – в Госфильмофонде хранится два комплекта 70-мм негативов, и каждый из них на правах оригинала (имеющие отличия по метражу и монтажу), один комплект обычного варианта на 35-мм негативе! И один комплект широкоэкранного варианта – 35-мм лаванда и контратип. А у сына оператора-постановщика первого советского ши-

Кадр из восстановленного фильма «Первороссияне»

35-мм негатив из фильма «Повесть пламенных лет» (1960) (широкоэкранный вариант)

Кадр из фильма «Повесть пламенных лет» (широкоэкранный вариант) (1960)

рокоформатного фильма «Повесть пламенных лет» Ф.Ф. Проворова сохранилась срезка оригинального 35-мм негатива широкоэкранного варианта. Но его нигде нет – и нет никаких упоминаний о том, что он был. Но ведь 35-мм лаванду и контратип с чего-то делали! Вопрос интересный, и можно целое расследование провести.

Начиная с 2008 года, в Госфильмофонде на современном профессиональном оборудовании реализуется программа оцифровки исходных материалов советских широкоформатных фильмов. После завершения этой работы можно будет со стопроцентной уверенностью сказать, что эти фильмы были сняты на 70-мм негативе. А вот чтобы получить такую же стопроцентную уверенность по фильмам, отсканированным с 70-мм лаванды или контратипа, при отсутствии 70-мм негатива и оригинальных негативов в другом формате, надо будет проделать работу по изучению всей документации на фильм и изучить историю прохождения оригинала от сдачи из производства до кинокопировальной фабрики и Госфильмофонда. Тогда мы сможем получить относительно полную фильмографию фильмов, снятых на 70-мм негативе. Именно относительно, т.к. некоторые фильмы по тем или иным причинам не были сданы или затерялись.

На сегодня с большой долей уверенности можно создать относительно полную фильмографию не фильмов, снятых на 70-мм негативной киноплёнке, а только фильмов, выпущенных в прокат в широкоформатном варианте, число которых значительно больше. Но и для этого потребуется провести огромную кропотливую работу по изучению прокатной истории каждого фильма, не по воспоминаниям киномехаников, зрителей и даже создателей этих фильмов, а по архивным документам. Эта работа ещё впереди.

А сегодня мы можем только сказать, что за короткий век отечественного широкоформатного кино в СССР было снято более трёхсот широкоформатных фильмов, разных жанров и продолжительности, многие из которых и сегодня интересны зрителям. И будем надеяться, что они ещё вернутся на наши экраны в новом цифровом виде. И кто его знает, может, и возродится плёночный кинематограф, как возродились виниловые пластинки. Ведь первая ласточка в январе 2016 года уже залетала к нам – «Омерзительная восьмёрка» (The Hateful Eight) режиссёра К. Тарантино (Quentin Jerome Tarantino), снятая в 2015 году в давно забытом формате Ultra Panavision 70, демонстрировалась с 70-мм копии в кинотеатре «Октябрь». А может быть, век широкого формата на киноплёнке не кончился, а просто взял временный отпуск?.. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бернштейн Н.Д., Высоцкий М.З., Коноплёв Б.Н., Тараканов В.А.* Технологические схемы получения кинофильмов различных форматов. Журнал «Техника кино и телевидения» – 1967. – № 1.
2. *Голдовский Е.М.* Основы кинотехники. М.: «Искусство», 1965.
3. *Голдовский Е.М.* Проблемы панорамного и широкоэкранного кинематографа. М.: «Искусство», 1958.
4. *Голдовский Е.М.* Принципы широкоформатного кинематографа. М.: «Искусство», 1962.
5. *Голдовский Е.М.* Принципы широкоэкранного кинематографа. М.: «Искусство», 1956.
6. *Головня А.Д.* Мастерство кинооператора. М.: «Искусство», 1965.
7. *Горбачев Б.К.* Техника комбинированных съёмок. М.: «Искусство», 1958.
8. Каталог фильмов действующего фонда. 1960–1975.
9. Научный отчёт по работе: «Разработка и обоснование предложений об объёмах производства 70 мм фильмов, фильмокопий и развития сети широкоформатных кинотеатров». М.: НИКФИ, 1970.
10. Советские художественные фильмы, т.т. 1–5, М.: «Искусство», 1961–1979.
11. *Hayes R.M.* A History and Filmography of Stereoscopic Cinema, US, North Corolina, 1989.