

2016-3 (10) СОДЕРЖАНИЕ

Новости, обзоры

Выставки, конференции, форумы 3

Технологии

С.Б. Бирючинский, *sbiruchinsky@optica4d.com*
Оптические системы для стереосъёмки на одноматричную камеру 5

О.В. Рожков, *rojkov@rl2.bmstu.ru*, С.М. Шамаев, *s.shamaev@gmail.ru*
Методика синтеза проекционных объективов для систем отображения информации с большим экраном и светодиодной подсветкой 9

Д.С. Ватолин, *dmitriy@graphics.cs.msu.ru*, А.А. Боков
Переход индустрии 3D-фильмов к конвертации и методы оценки её качества 14

Доклады

Ю.Н. Овечкис, *ovechkis@yandex.ru*, А.И. Винокур, *alex.vinokour@gmail.com*
Исследование глубины пространства, воспроизводимого автостереоскопической многоакурсной системой 24

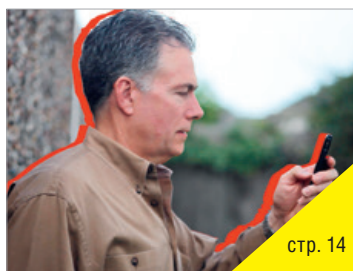
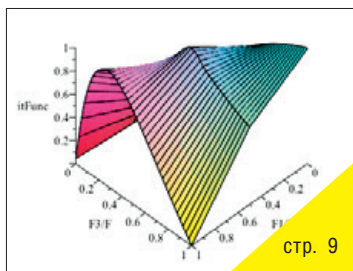
А.И. Шварцвальд, *shvarcvald@pereslavl.ru*
Введение в иконку изобразительных голограмм. Воспроизведение цвета 27

Мастер-класс

А.С. Мелкумов, *info@stereokino.ru*
Факторы, влияющие на дискомфорт и усталость при просмотре стереофильмов 31

Страницы истории кино

Н. Майоров, *henrymay@mail.ru*
120 лет кинематографа в России: 1896-2016 (продолжение) 35



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 «Кино студия им. М. Горького», ООО «ИПП «КУНА»
 При финансовой поддержке ООО «ИПП «КУНА»
 Руководитель проекта: Костылев Олег Юрьевич
 Главный редактор:
 Индлин Юрий Александрович, к.т.н.
 Выпускающий редактор:
 Захарова Тамара Владимировна
 Арт-директор, оформление обложки:
 Шишкин Владимир Геннадьевич
 Верстка и дизайн: Аверина Наталия Владимировна
 Корректор: Сайкина Наталья Владимировна

Редакционный совет:
 Овечкис Ю.Н., д.т.н., «НИКФИ», г. Москва, 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., МГУП им. И. Фёдорова, г. Москва, РФ
 Перегудов А.Ф., к.т.н., СПбГИКиТ, г. Санкт-Петербург, РФ
 Березин О.С., «Невафильм», г. Санкт-Петербург, РФ
 Барский И.Д., к.т.н., ВГИК, г. Москва, РФ
 Одинокоев 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

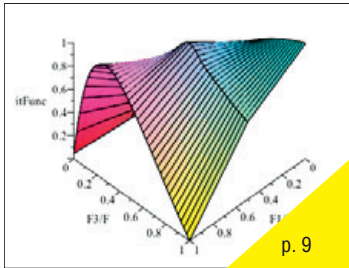
Отпечатано в ООО «ИПП «КУНА»
 Объем 5 п.л. Заказ № 138.
 Тираж 1000 экземпляров.

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

2016-3 (10) CONTENT



News, review

Exhibitions, conferences, forums **3**



Technology

S. Biryuchinskiy, sbiruchinsky@optica4d.com
Optical systems for stereoscopic filming on a one-matrix camera **5**

O. Rozhkov, rojkov@rl2.bmstu.ru, S. Shamaev, s.shamaev@gmail.ru
Projection lens systems synthesis method for information display systems with the big screen and led illumination **9**

D. Vatolin, dmitriy@graphics.cs.msu.ru, A. Bokov
Prevalence of 2D-to-3D conversion in the S3D movie industry and ITS quality metrics **14**



Reports

Yu. Ovechkis, ovechkis@yandex.ru, A. Vinokur, alex.vinokour@gmail.com
The space depth formed by the multiview autostereoscopic system **24**

A. Shvarcvald, shvarcvald@pereslavl.ru
Introduction to iconics pictorial holograms. Color reproduction differs **27**



Master-class

A. Melkumov, info@stereokino.ru
Factors affecting the discomfort and the fatigue when viewing 3D movies **31**

Movie history

N. Maiorov, henrymay@mail.ru
120 years of cinema in Russia: 1896-2016 (continued) **35**

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

Board of Editors Editorial Review Board:
Dst. Yu. Ovechkis, «NIKFI», Moscow, 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, Fedorov MSUP, Moscow, RF
O. Berezin, Nevafilm, Sankt-Petersburg, RF
Dst. prof. C. Odinkov, Bauman MSTU, Moscow, RF
Ph.D. A. Peregodov, SPbGUCT, Sankt-Petersburg, 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.



ВЫСТАВКИ, КОНФЕРЕНЦИИ, ФОРУМЫ



■ **13 мая 2016 года** научно-технический журнал «Мир техники кино» получил свидетельство о регистрации средства массовой информации с названием и на английском языке № 079156 «World of Technique of Cinema» ПИ № ФС77-65712 от 13 мая 2016 г. Примерная тематика журнала и (или) специализация: Новости, обзорные статьи, выставки, новинки кинотехники, вопросы теории, технологии, проекты, мастер-классы, семинары в области кинотехники, новости SMPTE, отзывы, вопросы сертификации и права, страницы истории кино, тендеры и конкурсы, реклама в соответствии с законодательством Российской Федерации о рекламе. Территория распространения научно-технического журнала «Мир техники кино/World of Technique of Cinema»: Российская Федерация, зарубежные страны.

24-28 июля 2016 г. в Анахайме (США) состоялась крупнейшая ежегодная Международная конференция по компьютерной графике и интерактивным технологиям «SIGGRAPH-2016». Основное внимание на конференции уделялось технологиям виртуальной реальности. В научных докладах, панельных дискуссиях, на демонстрациях и выставочных стендах обсуждались и демонстрировались как передовые исследования, так и современное состояние производства оборудования и контента для виртуальной реальности как нового вида зрелищ. Значительное внимание в научной программе конференции было уделено алгоритмам, применяемым в компьютерной анимации, и кинематографическим спецэффектам (подробнее читайте на сайте журнала «Мир техники кино/World of Technique of Cinema» и в номерах журнала).

С 09 по 13 сентября 2016 г. в Амстердаме (Нидерланды) директор филиала «Научно-исследовательский кинофотоинститут» АО ТПО «Киностудия им. М. Горького» А.В. Кучеренко и директор ФГУП «Опытное производство Научно-исследовательского кинофотоинститута» С.А. Григорьев приняли участие в работе научной конференции и выставке оборудования и технологий для телерадиовещания IBC 2016. Эта выставка является крупнейшей в Европе и привлекает ежегодно до 55 тысяч посетителей и участников, представляющих ведущие

мировые теле- и радиокommunikационные корпорации, а также основных производителей специализированного оборудования и контента.

НИКФИ и Опытное производство НИКФИ представили на выставке разработку 2016 года – конденсаторный микрофон KMN 16, отличающийся передовым спектром технических характеристик и широкими областями практического применения (читайте в журнале «Мир техники кино/World of Technique of Cinema» № 2016-2(10). Оригинальный дизайн, высокие технические характеристики и приемлемая по европейским меркам стоимость нового микрофона вызвали значительный интерес специалистов и посетителей выставки. Возможное распространение микрофона KMN 16 за рубежом обсуждалось в ходе переговоров и технических консультаций с представителями ведущих европейских, азиатских и американских компаний.



Также на выставке были проведены встречи и переговоры по другим технологиям, разрабатываемым в НИКФИ. Налажены контакты и обмен информацией с компанией Dalet, производящей системы управления контентом для телевизионных компаний, а также с другими разработчиками для архивирования цифрового видеоконтента, что актуально в рамках проводящихся в НИКФИ работ по хранению архивных материалов и поиску материалов по киноархивам. Компания Dalet заинтересована в разработке модуля семантической индексации материалов с учётом российской специфики (персоналии, локации). На выставке продолжены начатые в ходе выставки SIGGRAPH переговоры с компанией Nokia – производителем панорамной камеры OZO (Ajaya

Dugar, Business Development Strategic Partnerships, ajay.dugar@nokia.com), подтверждены намерения «Нокии» сотрудничать с НИКФИ при выходе камеры на российский рынок в начале 2017 года.

В ходе работы российского стенда проведена учредительная конференция Ассоциации разработчиков оборудования для теле- и радиовещания. Председателем Ассоциации был избран Генеральный директор телекомпании НТВ А. Земский. Филиал НИКФИ и ФГУП «Опытное производство НИКФИ» вошли в состав членов данной Ассоциации.



15-17 сентября 2016 г. в Ярославле состоялась XIII Международная конференция по голографии «ГолоЭкспо-2016». Для читателей журнала интересными темами были: «Формирование изображений и отображение информации с помощью голограммной оптики» (секция 2); «Объёмная голография и фоточувствительные материалы для голографии» (секция 3); «Голограммные и дифракционные оптические элементы: методы компьютерного синтеза, метаматериалы, плазменные структуры и технологии изготовления» (секция 4). Особенно интересными были доклады о применении голографии в музеях, в кино, театре и на телевидении. Некоторые доклады конференции читайте на страницах нашего журнала.

19-23 сентября 2016 г. в Санкт-Петербурге в помещении Конгрессно-выставочного центра «ЭКСПОФОРУМ» прошёл XVIII Международный форум и выставка «КиноЭкспо-2016». Это ежегодный Международный профессиональный форум и выставка киноиндустрии (кинотеатры, ТВ, новые цифровые медиа) и индустрии развлечений.



В рамках деловой программы состоялось очередное заседание российской секции SMPTE. С докладом о работе секции за последний год выступил председатель секции Олег Березин («НЕВАФИЛЬМ»). Он подчеркнул важность и необходимость дальнейшего развития секции, расширения её состава за счёт новых участников и активное участие членов секции в работе выставки и конгресса НАТ, который пройдёт в Москве 16–18 ноября этого года.

Одним из важнейших решений секции О. Березин считает начало работы по созданию терминологического

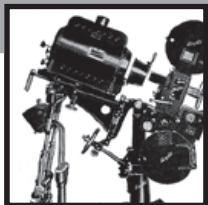
словаря на базе сайта Wikiterm. Эта площадка позволяет организовать работу всех специалистов киноотрасли по созданию языкового инструментария. Кроме этого, Олег Березин изложил комплексный анализ циклов развития отечественной киноотрасли и отметил, что, несмотря на то, что в настоящее время она находится на низшей точке очередного цикла, не далёк тот день, когда начнётся новый подъём её развития. И здесь очень важно, чтобы отечественные учёные и производители были готовы предложить новые технологии и продукты, соответствующие требованиям кинорынка. В связи с этим он представил обзор состояния новых разработок и научных исследований в России для киноиндустрии.

К.Ф. Глассман (СПбГИКиТ) выступил с сообщением о выставке и конференции IBC в Амстердаме, которая прошла с 9 по 13 сентября.



21-22 сентября 2016 г. в Лондоне состоялась научная конференция SAI Intelligent Systems (IntelliSys 2016) при технической поддержке IEEE. Конференция посвящена интеллектуальным системам и искусственному интеллекту и их практическому применению в реальном мире. Основные темы конференции: искусственный интеллект, машинное зрение, робототехника, интеллектуальная жизненная среда, машинное обучение. НИКФИ представил на конференции статью С.Ю. Подлесного «Deep Learning Based Semantic Video Indexing and Retrieval». Доклад прочитал автор в секции 6 «Машинное обучение». Доклад вызвал оживлённое обсуждение и положительные отзывы участников секции (подробнее читайте на сайтах НИКФИ и журнала). Статья будет опубликована в сборнике конференции и проиндексирована в IEEE Xplore, Scopus, Inspec, Google Scholar.

17-21 октября в Санкт-Петербурге пройдёт Оптический конгресс «Фундаментальные проблемы оптики – ФПО-2016». В рамках конгресса на 20.10.2016 в ИТМО запланированы чтения памяти Ю.Н. Денисюка. ■



ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СТЕРЕОСЪЁМКИ на одноматричную камеру



С.Б. Бирючинский, к.ф.-м.н., проф., sbiruchinsky@optica4d.com, ООО «Оптико-механические системы», РФ

Аннотация

Рассмотрены некоторые оптические схемы для стереосъёмки на одноматричную камеру. Проведено сравнение различных архитектур объективов для достижения стереозффекта. Приведены примеры оптических систем стереообъективов, рассчитанных автором.

Ключевые слова: объектив, aberrации, оптическая система, стереосъёмка, оптимизация, преобразование изображения, пропускная способность.

■ Информационная ёмкость матричных фотоприёмников современных видеокамер является достаточной для многих задач профессиональной стереокинематографии. В связи с этим является актуальной задача разработки специализированных систем стереообъективов для работы совместно с одноматричной камерой. Целью данной работы является сравнение относительной сложности оптических систем некоторых стереообъективов применительно к различной архитектуре построения стереосистемы в целом.

OPTICAL SYSTEMS FOR STEREOSCOPIC FILMING ON A ONE-MATRIX CAMERA

S. Biryuchinskiy, Ph.D, Prof., sbiruchinsky@optica4d.com, Opto-mechanical Systems Limited, Russia

Abstract

Some optical schemes for stereoscopic filming on a one-matrix chamber are considered. Comparison of various architecture of lenses for achievement of stereo effect is carried out. Examples of stereolenses optical systems calculated by the author are given.

Keywords: lens, aberrations, optical system, 3D stereo, optimization, image transform, bandwidth.

Наиболее простыми являются осесимметричные оптические системы прямого переноса изображения на соответствующий участок матрицы фотоприёмника. В этом случае, при соблюдении условия максимальной утилизации информационной ёмкости матрицы фотоприёмника, выбор стереобазиса ограничен исключительно геометрией светочувствительной области.

На рис. 1а, в качестве примера, показана оптическая схема блока стереообъектива, разработанного автором для камеры Phantom 65 (Vision Research, Inc., США).

Объектив имеет фокусное расстояние 75 мм, при относительном отверстии 1:3.8. Весь набор объективов для данной задачи рассчитывался на диагональ кадра 33 мм. Стереобазис составляет около 26 мм. График полихроматической функции передачи модуляции (рис. 1б) показывает достаточно равномерное качество изображения по всему полю, необходимое для профессиональной киносъёмки. Достигнутое качество изображения является достаточным для съёмки в формате 4 K на каждый стереокадр.

Одним из недостатков систем прямого переноса изображения является область засветки вокруг рабочей зоны стереокадра. Частично этот недостаток устраняется грамотным расчётом светоотсекателей и конструкцией перегородки между кадрами, однако наличие оптических элементов непосредственно перед плоскостью матрицы (фильтр нижних частот и т. д.) существенно затрудняет устранение нежелательных бликов и засветок. Данный вопрос можно решить установкой бленд непосредственно на фоточувствительную поверхность матрицы, однако это фактически приведёт к созданию специализированной камеры под некоторый набор объективов, и таким образом работа с обычными объективами данной камерой станет невозможна.

При проектировании объективов прямого переноса изображения возникают значительные сложности в коррекции аберраций широкоугольных систем, вызванные жёстким ограничением на механический диаметр линз. Примеры решения подобных задач без приме-

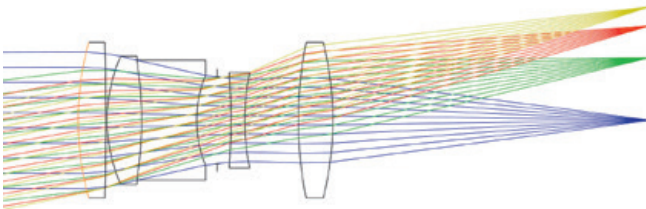


Рис. 1а. Оптическая схема объектива с фокусным расстоянием 75 мм

Fig. 1a. The optical scheme of lens with focal distance 75 mm

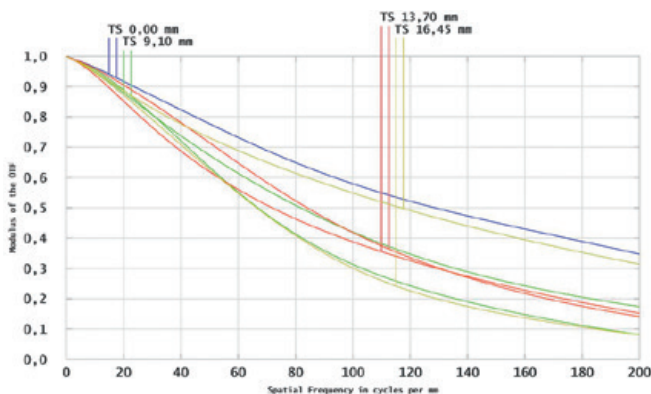


Рис. 1б. График полихроматической функции передачи модуляции

Fig. 1b. Plot of a polychromatic modulation transfer function

нения асферических компонентов показаны в [2]. Так, например, для фокусного расстояния 20 мм (относительное отверстие 1:3.8) объектив будет состоять из 11 линз.

В связи с распространённостью профессиональных цифровых киносъёмочных камер формата Super 35 возникла потребность создания специализированных стереообъективов. В общем случае наиболее оптимальная компоновка стереокадра на матрице показана на рис. 2, где зелёным цветом обозначена рабочая область матрицы, синим – технологический резерв, необходимый для юстировки системы (может отсутствовать), белым – область засветки, серым – неиспользуемая стереопарой область, в которую может быть спроецирована различная сервисная информация об объективе и параметрах съёмки. Из рис. 2 видно, что для корректного использования информационной ёмкости матрицы камеры необходимо либо анаморфирование изображения на каждом стереокадре, либо разворот изображения, формируемого объективом на 90° . При этом для обеспечения заданного стереобазиса (не менее 24 мм) необходимо введение излома оптической оси на каждом стереоблок.

Один из способов построения универсальной архитектуры оптической системы для работы с одноматричными камерами заключается в создании проекционного оптического блока, размещаемого между матрицей и стереообъективами и переносящего уменьшенное изображение от объективов на камеру. Поскольку в данном случае необходимо анаморфирование каждого стереокадра, то более рациональным является размещение цилиндрической оптики исключительно в проекционном объективе. В этом случае стереообъективы являются осесимметричными, величина стереобазиса является достаточной для создания, в том числе, и широкоугольных систем без обязательного применения асферических поверхностей. На рис. 3 показан один из вариантов подобной системы, разработанный автором (масштаб увеличен в 5 раз по вертикали). В данном случае насадка-проекторный объектив рассчитан

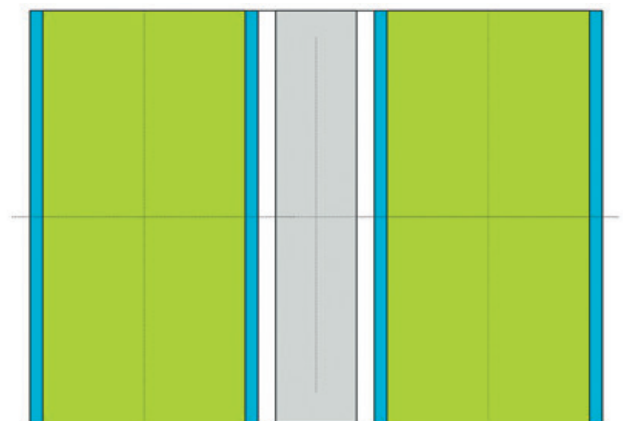


Рис. 2. Расположение стереокадров на матрице видеокамеры

Fig. 2. Arrangement of stereo film image on video camera matrix

на стереобазис 30 мм, а диаметр системы в целом не превышает 80 мм. График полихроматической функции передачи модуляции оптической насадки переноса изображения показан на рис. 4.

Поскольку проекционный объектив переносит изображение на матрицу с уменьшением, то необходимое относительное отверстие сменных блоков стереообъективов уменьшается (что упрощает систему в целом, особенно расчёт широкоугольных схем). С другой стороны, для блоков стереообъективов необходимо строгое соблюдение условия телецентричности в пространстве изображений, а для насадки – в пространстве предметов. Важным преимуществом архитектуры стереосистемы с проекционным объективом (непрямой перенос изображения) является возможность работы с малоформатными матрицами камер при сохранении штатной системы фильтров (нижних частот и т.д.). Причём существует порог, начиная с которого данный способ становится единственно возможным при сохранении требований на стереобазис, необходимое относительное отверстие и информационную ёмкость стереокадра. Наиболее существенным недостатком данной системы является её длина, превосходящая стереобазис примерно в 8–10 раз. По этой причине применение архитектуры стереосистемы с промежуточным изображением является нецелесообразным на камерах с площадью матрицы, превосходящей Super 35.

Другим способом построения архитектуры стереооптической системы (в соответствии с компоновкой стереокадра, рис. 2) является применение призмённых элементов для поворота изображения. Один из вариантов такой системы показан на рис. 5, на котором синим цветом обозначена входная поверхность призмённого блока, зелёным – выходная. Конструктивно призмённый блок состоит из трёх 90-градусных призм на каждый объектив. Призмённый блок не только поворачивает изображение предмета на матрице камеры оптимальным образом, но и обеспечивает заданный стереобазис. Призмённый блок также может выполнять функцию фильтров перед матрицей камеры. В этом случае доля информационной ёмкости матрицы на стереоканал увеличивается (за счёт уменьшения зоны засветки вокруг стереокадра).

В некоторых случаях с целью расположения оптических осей объективов и матрицы камеры в одной плоскости возможно расположение призмённых блоков, как показано на рис. 6 (упрощённо). Конструктивно подобная компоновка позволяет создать систему с изменяемым стереобазисом в некоторых пределах.

Специально для работы в составе с призмённой системой поворота изображения был разработан набор объективов, один из которых показан на рис. 7а. Объектив имеет фокусное расстояние 50 мм при эффективном относительном отверстии 1:4. Отличительными особенностями данного набора объективов являются их малые массогабаритные характеристики, малый диаметр линз,

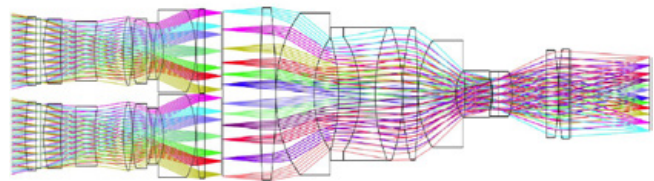


Рис. 3. Оптическая схема комбинированного стереообъектива с полным переносом изображения и возможностью анаморфирования

Fig. 3. The optical scheme of the combined stereolens with full transfer of the image and possibility of anamorphosing

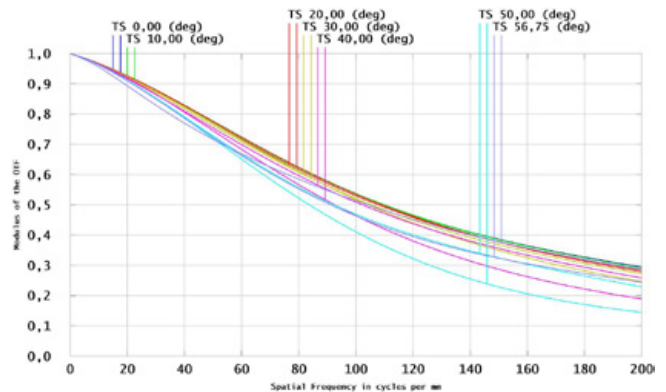


Рис. 4. График полихроматической функции передачи модуляции оптической насадки переноса изображения

Fig. 4. Plot of a polychromatic modulation transfer function for image transfer optical attachment

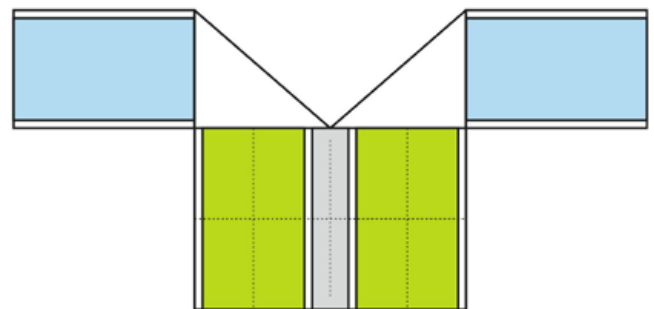


Рис. 5. Архитектура симметричной призмённой системы композиции стереокадров

Fig. 5. Architecture of symmetric prismatic system of stereo film image composition

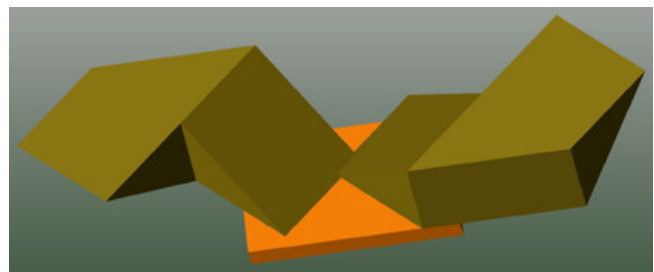


Рис. 6. Архитектура несимметричной призмённой системы композиции стереокадров с максимальным стереобазисом

Fig. 6. Architecture of asymmetrical prismatic system of stereo film image composition with the maximum stereobase

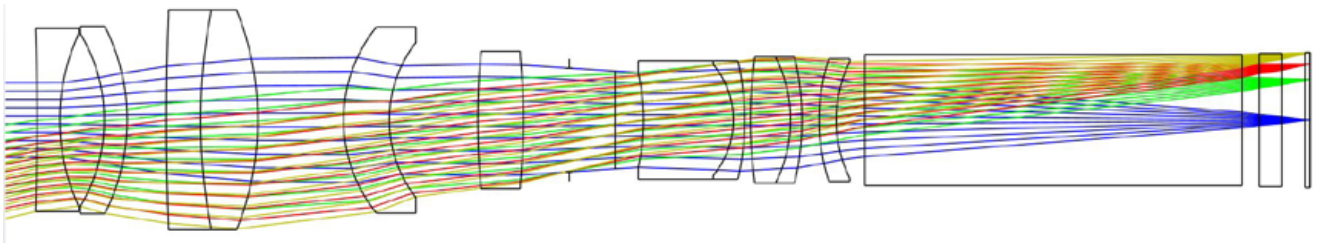


Рис. 7а. Оптическая схема объектива с фокусным расстоянием 50 мм для работы в составе с призмной системой поворота изображения

Fig. 7a. The optical scheme of lens with focal distance 50 mm for work in structure with prismatic system of turn of the image

ход лучей также специально оптимизировался с целью устранения нежелательных бликов и паразитных засветок. График полихроматической функции передачи модуляции (рис. 7б) показывает отличное качество изображения по всему полю.

Поскольку в призмной системе не требуется полное соблюдение условия телецентричности в пространстве изображений, оптимизация системы в целом несколько упрощается, однако из-за значительного заднего фокального отрезка оптические схемы объективов являются в целом более сложными (за некоторым исключением) по сравнению с ранее рассмотренными. Тем не менее, по информационной ёмкости подобные решения превосходят системы с проекционным оптическим блоком, особенно на матрицах, превосходящих по площади формат Super 35. На малых матрицах, при сохранении стереобазиса не менее 24 мм, системы с призмным поворотом изображения существенно проигрывают системам с проекционным объективом (особенно, если стоит задача сохранить штатные фильтры на матрице камеры).

Некоторым преимуществом архитектуры оптических систем с призмными элементами является возможность применения различных насадок (в том числе, анаморфотных), располагаемых между объективом и

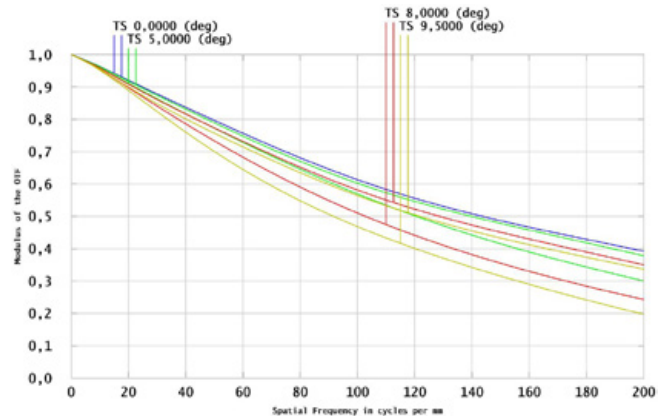


Рис. 7б. График полихроматической функции передачи модуляции

Fig. 7b. Plot of a polychromatic modulation transfer function

призмой. Подобное технически возможно и для архитектуры системы с прямым переносом изображения, однако на практике это приведёт к значительному усложнению оптических схем набора стереобъективов из-за требования унификации хода лучей в области заднего фокального отрезка.

Заключение

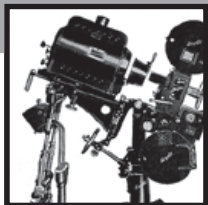
Во всех трёх рассмотренных вариантах оптических схем возможно создание универсальных панкратических объективов, заменяющих дискретные системы с относительным отверстием вплоть до 1:4 и максимальным углом поля зрения около 90°. Более светосильные системы нецелесообразны для подобных задач. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Milton Laikin, "Lens Design", Fourth Edition, CRC Press 2006.
2. Бирючинский С.Б. Киносъёмочные стереобъективы высокой чёткости // Научно-технический журнал «Мир техники кино», 2009. – № 13. – С. 19–22.
3. Бирючинский С.Б. Информационная пропускная способность кинематографических объективов // Мир Техники Кино. – 2014. – № 32. – С. 16–19.
4. Бирючинский С.Б. Моделирование и оптимизация архитектуры оптических систем для современного кинематографа // Мир Техники Кино. – 2015. – № 37. – С. 8–12.

REFERENCES

1. Milton Laikin, "Lens Design", Fourth Edition, CRC Press 2006.
2. Biryuchinskiy S. High definition cinema stereolenses // Mir Tehniki Kino. – 2009. – № 13. – p. 19–22.
3. Biryuchinskiy S. Information bandwidth of cinema lenses // Mir Tehniki Kino. – 2014. – № 32. – p. 16–19.
4. Biryuchinskiy S. Modeling and optimization of optical systems architecture for a modern cinema // Mir Tehniki Kino. – 2015. – № 37. – p. 8–12.



МЕТОДИКА СИНТЕЗА ПРОЕКЦИОННЫХ ОБЪЕКТИВОВ

для систем отображения информации с большим экраном и светодиодной подсветкой



О.В. Рожков, д.т.н., профессор, rojkov@rl2.bmstu.ru,
С.М. Шамаев, аспирант, s.shamaev@gmail.ru, МГТУ им. Н.Э. Баумана, РФ

Аннотация

Предлагается методика синтеза проекционной системы. Методика включает обоснованный выбор оптимальной структуры проекционной системы, габаритный синтез, абберационный синтез и расчёт асферик оптической системы. Применение данной методики позволяет быстро и с высокой вероятностью рассчитать конструкцию проекционной системы светодиодного проектора.

Ключевые слова: проекционная система, матрица микрозеркал, абберационный синтез.

PROJECTION LENS SYSTEMS SYNTHESIS METHOD FOR INFORMATION DISPLAY SYSTEMS WITH THE BIG SCREEN AND LED ILLUMINATION

O. Rozhkov, Dst, rojkov@rl2.bmstu.ru, S. Shamaev, graduate student, s.shamaev@gmail.ru, Bauman Moscow State Technical University, Russia

Abstract

Proposed the projection system synthesis method. Created method includes selection of the optimal optical system structure, dimensional synthesis and aberrational synthesis and calculation of aspheric surfaces of optical system. Application of this method allows to quickly and with a high probability calculate the projection system construction for LED projector.

Keywords: projection system, the micromirror matrix, aberration synthesis.

Введение

В настоящее время проекционные системы широко и эффективно применяются для отображения информации в залах конференций, центрах оперативного реагирования и мониторинга, диспетчерских и ситуационных

залах и др. Основным элементом данных систем отображения информации является проектор. Структуру проектора можно разделить на три части: осветительная система, источник формирования изображения и проекционная система (рис. 1).

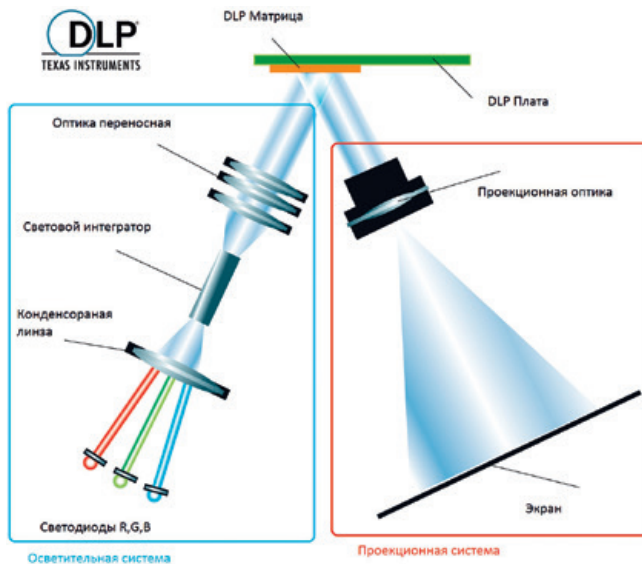


Рис. 1. Оптическая система проектора с одной зеркальной матрицей DMD

Fig. 1. The optical system of the projector with one DMD micromirror matrix

Благодаря значительному прогрессу в технологиях мощных светодиодов (СД LED), эти источники излучения становятся доступной альтернативой традиционным газоразрядным, поэтому могут и используются в оптической системе проектора. Применение светодиодов в осветительной системе позволило существенно повысить такие параметры проектора как контраст изображения, цветовой охват, а также энергоэффективность. Однако при замене газоразрядных источников излучения на светодиодные источники была переработана практически вся оптическая система проектора. Для повышения энергоэффективности и уменьшения потерь оптического излучения светодиодные осветительные системы требуют увеличения светосилы проекционной системы проектора, что приводит к росту aberrаций в оптической системе. Поэтому для проектора с такой осветительной системой необходимо разработать новый светосильный проекционный объектив, который учитывал бы, в том числе, специфические требования работы источника формирования изображения (матрицы микрзеркал DMD).

К специфическим требованиям можно отнести:

1. Телецентрический ход главного луча в пространстве предметов (DMD чип).

2. Входной зрачок проекционного объектива должен располагаться в бесконечности.

3. Большой задний фокальный отрезок, $1 < BFL/FL < 3$ для размещения призм ПВО, при её наличии.

В патентной базе США существует множество различных оптических проекционных систем отображения информации [1], однако эти многолинзовые объективы обладают существенными недостатками, в том числе, они содержат большое количество компонентов (четыре и более) и множество асферических поверхностей высокого (десяти и более) порядка. Перед нами была задача разработки

проекционного объектива, который обладал бы малым числом компонентов (\leq трёх), а общее число сферических линз объектива не превышало бы 12. Проектирование проекционных объективов подробно исследовано в работах Д.С. Волосова, однако приведённые рекомендации не дают удовлетворительных результатов при абберационном синтезе для проекционных систем данного класса. Проектирование светосильного широкоугольного проекционного объектива является во многом нерешённой задачей. Процесс проектирования, при большом числе исходных оптических схем и по количеству компонентов, зачастую является чрезмерно сложным и долговременным, и может не приводить к приемлемым результатам.

Для ускорения и увеличения вероятности успешного процесса проектирования предлагается методика синтеза проекционной оптической системы для светодиодного проектора.

Этап выбора структурной схемы проекционного объектива

При определённой структуре проекционного объектива остаётся открытым вопрос об оптимальности распределения сил между оптическими компонентами. На данном этапе очень сложно определить удачность выбранного решения с точки зрения aberrаций конечной системы, а также возможности последующего aberrационного синтеза проекционной системы.

Для каждой структурной схемы необходимо провести полный цикл aberrационного синтеза: от выбора соотношения оптических сил компонентов до определения качества получаемого изображения.

Проекционные объективы для устройств данного класса, как правило, состоят из трёх компонентов [1, 2, 3, 4, 5]:

- наружный (со стороны экрана) компонент является отрицательным и служит для развития поля и уменьшения габаритов системы;
- центральный компонент является основным силовым элементом объектива (рис. 2);

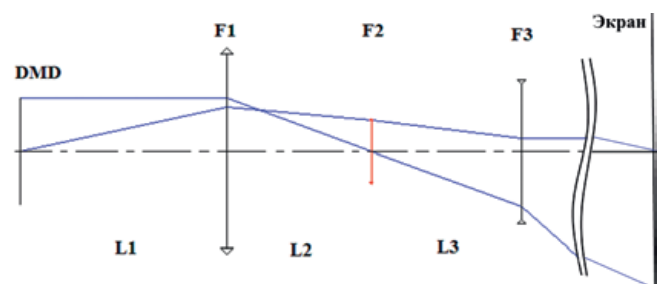


Рис. 2. Структура проекционной системы, DMD-матрица микрзеркал, F1, F2, F3 – компоненты объектива, L1, L2, L3 – расстояние между компонентами. Ход 1-го и 2-го вспомогательных лучей от DMD-матрицы микрзеркал на экран

Fig. 2. The structure of the projection system, the DMD micromirror matrix, F1, F2, F3 lens components, L1, L2, L3 – the distance between the components. Path of the 1st and the 2nd auxiliary beams from the DMD micromirror matrix on the screen

• вблизи передней фокальной плоскости первого (в прямом ходе лучей) компонента (телецентратора) установлена апертурная диафрагма, основная задача – обеспечить телецентрический ход главных лучей в пространстве матрицы микрзеркал DMD.

Данная структурная схема более других зарекомендовала себя в качестве исходной схемы, так как обеспечивает множество конечных оптических систем приемлемого качества после завершения всех этапов абберационного синтеза.

Этап габаритного синтеза. Выбор рационального соотношения фокусных расстояний между отдельными компонентами

На этапе габаритного синтеза необходимо определить области рациональных стартовых точек расчёта оптической системы и рациональное соотношение между оптическими силами отдельных компонентов. Это позволит сократить время на разработку проекционного объектива в будущем за счёт локализации областей поиска решений и фильтрации неперспективных, с точки зрения качества и возможности изготовления, решений.

Для решения данной задачи была принята тактика перебора значений некоторых основных параметров отдельных компонентов проекционного объектива (при сохранении общего фокусного расстояния). Все остальные параметры проекционного объектива вычисляются, исходя из значений переменных параметров. Трудным этапом был поиск как можно меньшего числа перебираемых параметров, причём таких, что их взаимосвязь со всеми остальными параметрами оптической системы была бы как можно более непосредственной.

Осуществлялся перебор различных соотношений между оптическими силами компонентов по следующей ме-

тодике: в первом цикле выбиралось значение фокусного расстояния третьего компонента в долях фокусного расстояния второго; далее во вложенном цикле перебирались значения фокусных расстояний первого и второго, с определением оценочной функции MF:

$$MF = \{F, Spot, Dist\} \quad (1)$$

В областях параметров определяются диапазоны рациональных соотношений оптических сил компонентов, а также выбираются соотношения фокусных расстояний отдельных компонентов между собой и с учётом общего фокусного расстояния объектива:

$$F_1 = \alpha F; F_2 = \beta F; F_3 = \gamma F \quad (2)$$

Для анализа возможностей абберационного синтеза оптической системы данного класса целесообразно рассмотреть поведение целевой функции (MF) в зависимости от соотношения фокусных расстояний отдельных компонентов проекционного объектива между собой, а для локализации областей рациональных значений фокусных расстояний – рассмотреть соотношение отдельных оптических компонентов.

$$\alpha_1 \leq F_1/F_2 \leq \alpha_2; \beta_1 \leq F_1/F_3 \leq \beta_2; \delta_1 \leq F_2/F_3 \leq \delta_2 \quad (3)$$

Так как нет возможности визуализировать четырёхмерное пространство параметров, приводятся три поверхности. Целевая функция объектива указана в зависимости от различных комбинаций нормированных величин фокусных расстояний F_1/F , F_2/F , F_3/F . Всего таких комбинаций три (рис. 3).

Выбирать соотношения оптических сил отдельных компонентов целесообразно в окрестности центральной зоны, так как в этой области находятся наиболее удачные решения с точки зрения аббераций конечной оптической системы.

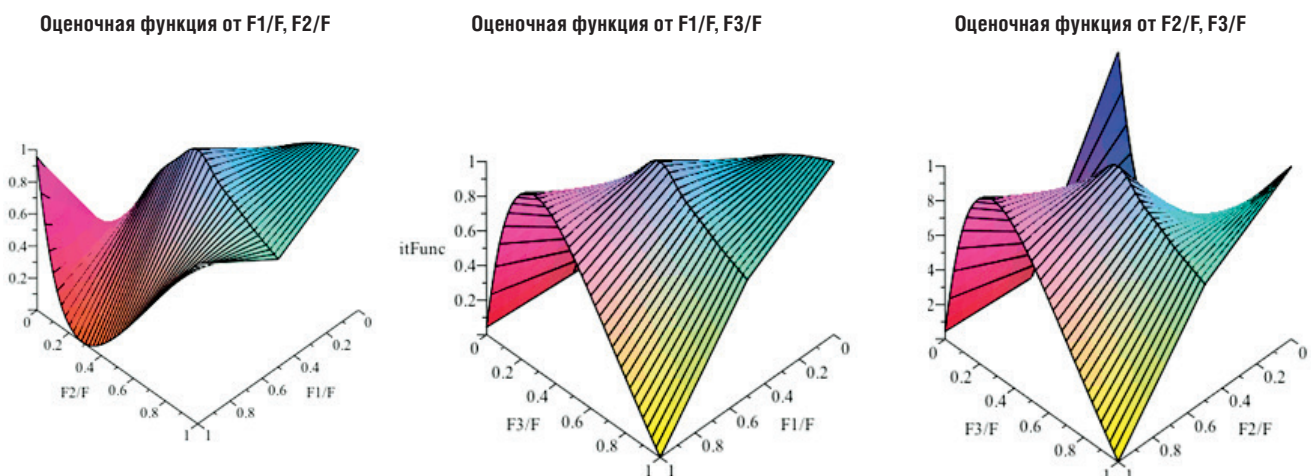


Рис. 3. Зависимость оценочной функции MF объектива от соотношения нормированных величин фокусных расстояний 1-го, 2-го и 3-го компонента

Fig. 3. The dependence of the lens merit function MF from a ratio of normalized values of focal lengths of the 1st and the 2nd and 3rd component

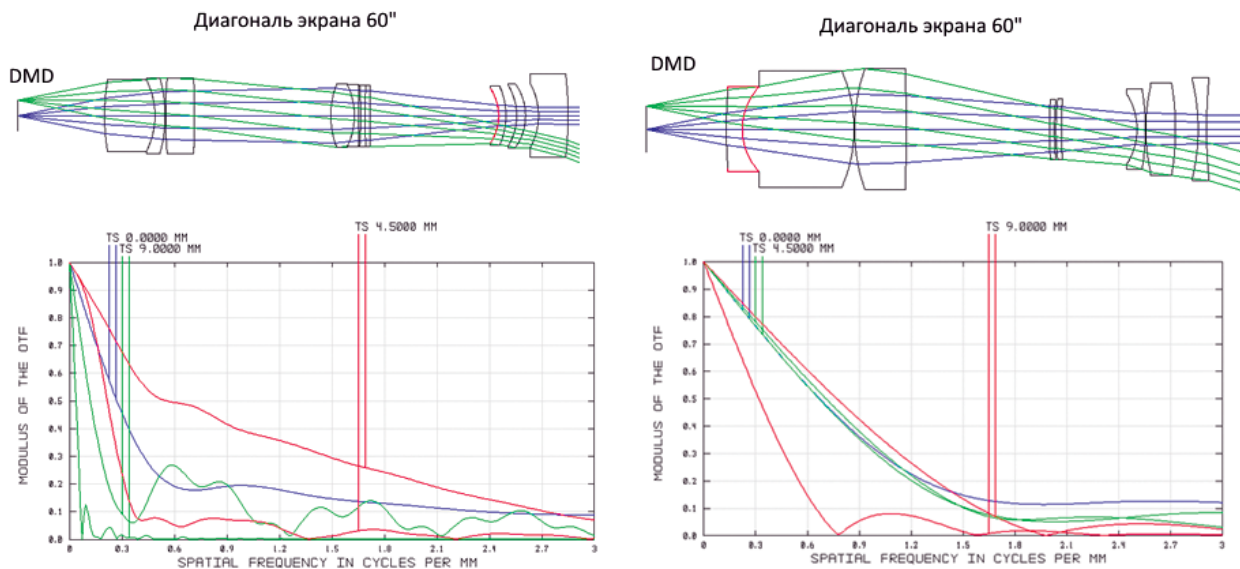


Рис. 4. Оптические схемы двух проекционных объективов, ход лучей от DMD матрицы на экран. Слева: асферизация 2-й и 5-й поверхностей. Справа: асферизация 1-й и 6-й поверхностей

Fig. 4. The optical scheme of the two projection lenses, the rays path from the DMD matrix to the screen. Left: asphericity of 2nd 5th surfaces. Right: asphericity 1st and 6th surfaces

Этап абберационного синтеза проекционного объектива. Выбор поверхностей для асферизации

Для получения исходной оптической системы с гарантированной патентной чистотой абберационный синтез проекционной оптической системы использует основные абберационные параметры [7, 8, 9].

Однако для получения оптической системы приемлемого качества и малым количеством оптических компонентов необходимо асферизовать несколько поверхностей. Остаётся открытым вопрос о выборе поверхностей асферизации, так как от него очень сильно зависит качество конечного изображения. Наиболее зарекомендовавший себя подход – асферизация наиболее нагруженных поверхностей. Для определения данных поверхностей используется диаграмма Зейделя для трёх, пяти и семи порядков, а для расчёта параметров асферика используются выражения для расчёта аббераций центрированных оптических систем 3+5+7-го порядков. Данные выражений были получены из функции эйконала Шварцшильда, благодаря её пригодности при анализе и абберационном синтезе оптических систем. Разложение функции эйконала в ряд Тейлора и группировка по степеням инвариантов вращения позволяют получить аналитические выражения для абберационных коэффициентов с учётом величин различных порядков малости (рис. 4) [8].

Пример синтезированной проекционной системы

Пример успешного проектирования проекционной системы светодиодного проектора по разработанной методике проектирования показан на рис. 5.

Применение разработанной методики проектирования позволило обеспечить расчётные характеристики проектируемых проекторов на уровне зарубежных ана-

логов – по критерию разрешающей способности, светосиле, количеству компонентов, числу асферических поверхностей.

Расчётные характеристики проекторов

Относительное отверстие	~1:2,5
Количество компонентов	12
Асферических поверхностей	2
MTF по уровню 0.5	1 лин/мм (60")
Дисторсия по краю поля	<1%

Заключение

Результаты успешной работы методики синтеза проверялись при помощи программ для анализа и оптимизации оптических систем, получивших мировое признание: «Zemax», «Code-V», «LightTools». Достоверность результатов подтверждается численными экспериментами, проводимыми с помощью пакета программ «Matlab». Методика состоит из традиционных этапов проектирования оптических систем, каждый из которых был кардинально улучшен:

- Этап выбора структуры проекционного объектива улучшен за счёт селекции и ограничения набора исходных структурных схем проекционного объектива.

- Этап габаритного синтеза улучшен за счёт рационального распределения оптических сил между компонентами объектива.

- Этап абберационного синтеза улучшен за счёт использования псевдорешений СЛАУ сумм Зейделя, что приводит к ускорению процесса абберационного синтеза.

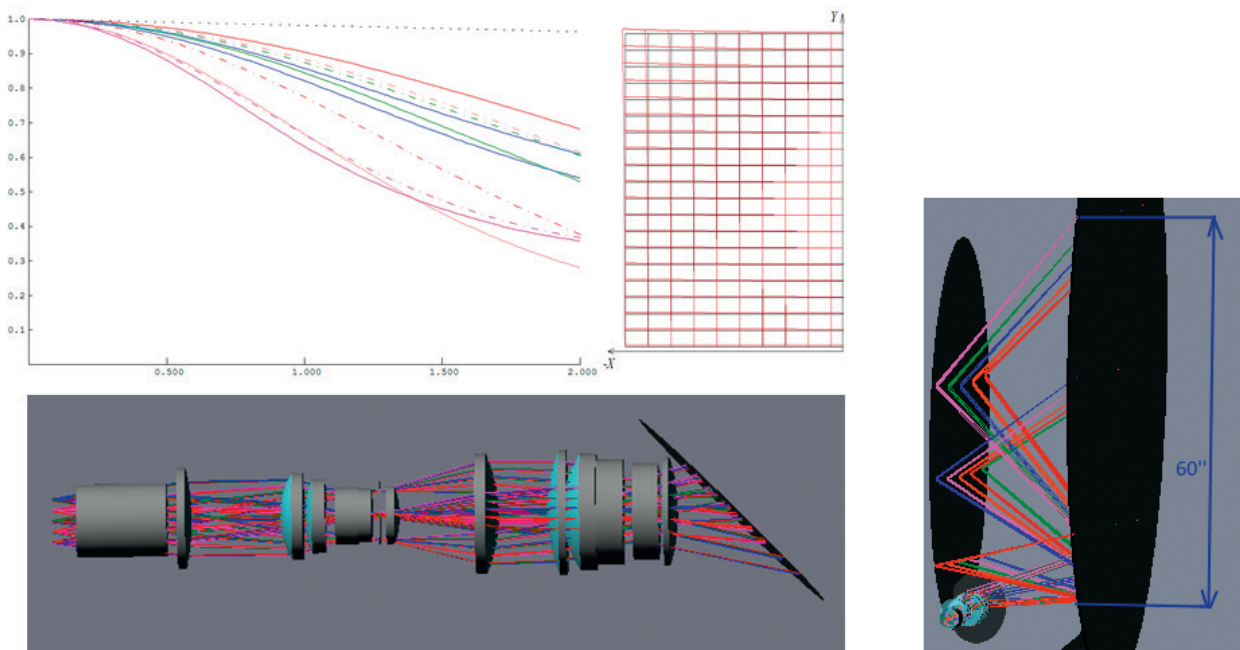


Рис. 5. Трёхкомпонентный проекционный объектив, диагональ экрана 60". График MTF и сетка дисторсии
 Fig. 5. 3-component projection lens, a screen diagonal of 60". MTF chart and distortion mesh

• Этап асферизации некоторых поверхностей улучшен за счёт определения рациональных поверхностей для асферизации и расчёта необходимых параметров асферик. Применение данной методики позволяет быстро и с высокой вероятностью синтезировать исходную

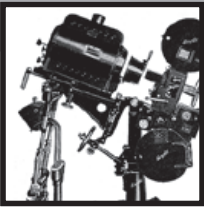
проекционную систему проектора с гарантированной патентной чистотой. Полученные исходные оптические системы в большинстве случаев удаётся ещё улучшить после оптимизации в САПР ОС методом тонкой абберационной коррекции. ■

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. TILT PROJECTION OPTICAL SYSTEM *Soh Ohzawa, Toyonaka (JP); Tomiei Kuwa, Osaka (JP)*, US 6,690,517 B2.
2. *Jeffrey Alan Gohman*, US Patent Application #2004/0032653 (Feb. 19, 2004), InFocus Corp.
3. *Christopher T. Cotton, et al.*, US Patent #6,457,834 (Oct. 1, 2002), Scram Technologies, Inc.
4. *Kenji Konno, Soh Ozawa*, US Patent Application #2003/0202161 (Oct. 30, 2003), Minolta Co., Ltd.
5. *Hiroshi Suzuki, Shinsuke Shikama*, US Patent #6,631,994 (Oct. 14, 2003), Mitsubishi Electric Corp.
6. *Hornbeck L.J.* Digital light processing for high-brightness, high-resolution applications. Proc. SPIE, 3013, 1997.
7. *Слюсарев Г.Г.* Методы расчёта оптических систем, Машиностроение, 1969.
8. *Турыгин И.А.* Прикладная оптика. Том 1, Машиностроение, 1966.
9. *Турыгин И.А.* Прикладная оптика. Том 2, Машиностроение, 1966.
10. *Заказнов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И.* Теория оптических систем. Машиностроение, 1992.
11. *Канатников А.Н., Крищенко А.П.* «Линейная алгебра», МГТУ, 2001.
12. *Рожков О.В., Шамаев С.М.* Аналитическое разложение функции эйконала центрированных оптических систем. Труды 9-й Международной конференции «Прикладная оптика-2010», Санкт-Петербург, 18–22 октября 2010. Том 1(2). С. 112–116. Оптическое приборостроение.

1. TILT PROJECTION OPTICAL SYSTEM *Soh Ohzawa, Toyonaka (JP); Tomiei Kuwa, Osaka (JP)* US 6,690,517 B2
2. *Jeffrey Alan Gohman*, US Patent Application #2004/0032653 (Feb. 19, 2004), InFocus Corp.
3. *Christopher T. Cotton, et al.*, US Patent #6,457,834 (Oct. 1, 2002), Scram Technologies, Inc.
4. *Kenji Konno, Soh Ozawa*, US Patent Application #2003/0202161 (Oct. 30, 2003), Minolta Co., Ltd.
5. *Hiroshi Suzuki, Shinsuke Shikama*, US Patent #6,631,994 (Oct. 14, 2003), Mitsubishi Electric Corp.
6. *Hornbeck L.J.*: Digital light processing for high-brightness, high-resolution applications, Proc. SPIE, 3013, 1997.
7. *Slyusarev G.G.*, "Methods of calculation of optical systems", mechanical engineering, 1969.
8. *Turygin I.A.*, "Applied optics. Volume 1.", Mechanical engineering, 1966.
9. *Turygin I.A.*, "Applied optics. Volume 2.", Mechanical engineering, 1966.
10. *Zakaznov N.P., Kiryushin S.I., Kuzichev V.I.*, "Theory of optical systems", mechanical engineering, 1992.
11. *Kanatnikov A.N., Krishchenko A.P.*, "Linear algebra", MGTU, 2001.
12. *Rozhkov O.V., Shamaev S.M.*, "Analytic function expansion eikonal centered optical systems", proceedings of the 9th International conference "Applied optics-2010". Saint Petersburg on October 18–22, 2010. Volume 1(2). pp. 112–116. Optical instrumentation.



ПЕРЕХОД ИНДУСТРИИ 3D-ФИЛЬМОВ К КОНВЕРТАЦИИ И МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЕЁ КАЧЕСТВА



Д.С. Ватолин, dmitriy@graphics.cs.msu.ru, к.ф.-м.н., А.А. Боков, аспирант, МГУ им. М.В. Ломоносова, РФ

Аннотация

Прогресс в области алгоритмов обработки видео за 10 лет позволил создать инструменты, которые за последние 5 лет кардинально снизили стоимость конвертации видео из 2D в 3D при одновременном повышении качества. Это привело к тому, что если в 2009 и 2011 годах количество снятых фильмов вдвое превышало количество отконвертированных, то уже с 2013 года количество отконвертированных фильмов было больше, причём в 2015 году перевес достиг 13 раз. При этом с точки зрения компьютерного зрения сложность задачи контроля технического качества сконвертированного видео намного выше, чем аналогичная задача для снятого видео, что увеличивает вероятность дискомфорта зрителей 3D-фильмов вообще после просмотра отконвертированных фильмов, особенно со средним и низким бюджетом. Далее в статье представлены три новых метода контроля качества конвертации, а также проанализирован ряд тенденций в области производства стереофильмов.

Ключевые слова: конвертация 2D в 3D, метрики качества, качество стерео, дискомфорт от 3D, компьютерное зрение.

■ Введение

Конвертация, т.е. искусственное построение стереопары сцен фильмов, активно используется с конца 90-х. Изначально запрос на конвертацию был как на элемент обработки снятых фильмов, когда в силу каких-то при-

PREVALENCE OF 2D-TO-3D CONVERSION IN THE S3D MOVIE INDUSTRY AND ITS QUALITY METRICS

D. Vatolin, dmitriy@graphics.cs.msu.ru, Ph.D, A. Bokov, graduate student, Lomonosov MGU, Russia

Abstract

Recent progress in the field of video processing has led to a dramatic decline in 2D-3D conversion costs and a significant quality improvement over the course of last 5 years. We observe that despite 2D-3D conversion being relatively unpopular in 2009 and 2011 (twice as many natively captured S3D movies were released in these years as converted ones), in 2015 2D-to-3D conversion was 13 times more prevalent compared to native stereoscopic shooting. However, automatic technical quality assessment of 2D-to-3D conversion is quite a difficult computer vision problem as opposed to a relatively simple task of stereoscopic shooting quality control. This fact leads to an increased likelihood of visual fatigue or discomfort after viewing converted S3D movies, especially low-budget ones. In this paper we present three novel metrics for quality control of 2D-to-3D conversion and analyze current trends in the S3D movie production industry.

Keywords: 2D-to-3D conversion, quality metrics, stereoscopic video quality, computer vision.

чин происходила потеря второго ракурса, и нужно было «спасать ситуацию». Постепенно средства обработки видео, используемые при конвертации в 3D, совершенствовались, появлялись специализированные инструменты, ориентированные только на конвертацию. Можно

сказать, что массовый перелом в сознании продюсеров в отношении к конвертации произошёл в 2012 году, когда Джеймс Кэмерон выпустил фильм «Титаник 3D», потратив на его конвертацию 18 миллионов долларов и собрав в прокате 343 миллиона. Коэффициент по сборам 19:1 – это редкость в киноиндустрии, и уже с 2013 года конвертация начала заметно набирать популярность, тем более, если фильм изначально снимать в расчёте на конвертацию, её стоимость можно кардинально уменьшить.

Аналогичная ситуация уже произошла с «Аватаром». На момент съёмки фильма камеры для него и программе монтажа пришлось делать с нуля. А уже через три года и эти камеры были заметно улучшены, появились конкуренты, которые показали себя ещё лучше, на сегодня вышло уже 10 версий программы монтажа, которая заняла изрядную долю рынка монтажа стерео, для неё написано множество специализированных плагинов, стоящих дороже самой программы и эффективно решающих отдельные проблемы стерео. Ситуация изменилась в лучшую сторону кардинально. В наиболее успешных студиях постоянно тестировался и изменялся технологический процесс, на постоянной основе работали (и работают) тренеры, которые регулярно доучивали и переучивали персонал. В итоге иногда фильм начинал делаться на одном процессе, а заканчивался на другом, но это позволяло оставаться на гребне волны всё более и более эффективных технологий, что давало возможность повышать техническое качество фильмов при одновременном снижении затрат.

Возвращаясь к теме статьи, все 3D-фильмы можно условно поделить на три категории:

- «снято в 3D», когда большая часть фильма была снята на специализированные стереокамеры;
- «отконвертировано из 2D в 3D», когда большая часть фильма была изначально снята в 2D (как правило, с учётом дальнейшей конвертации), а потом была отконвертирована;
- «компьютерная графика», когда большая часть фильма была построена в специализированных программах 3D-рендеринга – это в основном 3D-мультфильмы, которых сегодня снимается довольно много.

Безусловно, бывают ситуации, когда отконвертированные сцены встречаются в снятом фильме – мы построили специализированный классификационный алгоритм и нашли 456 таких сцен в 65 проанализированных 3D-фильмах (7 сцен на фильм в среднем). Обычно конвертацию в случае снимаемого фильма используют для исправления брака съёмки (потеря ракурса удачного дубля) или в ситуациях, когда снять качественно по каким-то причинам сложно или невозможно (макросъёмка, подводная съёмка, архивная съёмка и т. д.) Также мы нашли 65 снятых сцен в 40 проанализированных отконвертированных фильмах (1,62 сцены на фильм). Обычно это второстепенные сцены, снимаемые второй командой (Second Unit), или сцены, которые относительно дорого конвертировать. Также, безусловно, в фильмах обоих

типов встречается компьютерная графика, в основном, в сценах со спецэффектами. Тем не менее, в большинстве случаев сцены фильма сделаны одним способом, технология производства которого и определяет классификацию фильма и характер большинства потенциально дискомфортных сцен.

В течение последних восьми лет в нашей лаборатории было сделано много исследований, посвящённых качеству стерео. Часть разработанных алгоритмов выявления проблем универсальны и применимы ко всем трём типам сцен. При этом большая часть алгоритмов относилась к снятому видео. Этот акцент был сделан по двум причинам:

- на тот момент большая часть фильмов снималась в 3D;
- к сожалению, наиболее болезненные артефакты встречаются в основном в съёмке.

Ровно по этой причине наши исследования были с большим энтузиазмом восприняты западными стереографами, поскольку профессионалы были в курсе судьбы предыдущих волн интереса к стерео, которые сходили на нет именно в силу заметного дискомфорта при просмотре. Кроме того, профессиональным стереографам нужны были аргументы в постоянных спорах с продюсерами о необходимости исправления тех или иных проблем в сценах, поскольку исправление – это деньги и время, которые, как правило, особенно дефицитны под конец периода post-production.

Для нас, как для специалистов в области обработки видео, хорошо виден быстрый прогресс в области алгоритмов исправления проблем съёмки, что означает ускорение и упрощение (а значит, и удешевление) процесса исправления. Увы, на данный момент приходится констатировать, что стереографы, курировавшие съёмку, уже проиграли в противостоянии с продюсерами, и индустрия практически полностью перешла на конвертацию.

На рис. 1 хорошо видно, что в 2009–2012 годах количество снятых фильмов превышало количество откон-

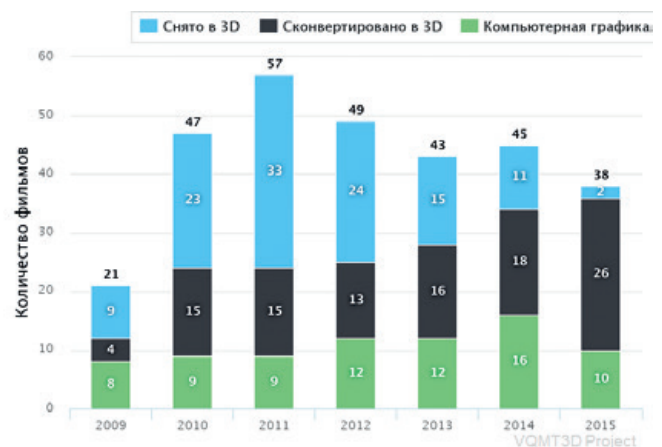


Рис. 1. Соотношение снятых, отконвертированных и отрендеренных фильмов в трёхстах 3D-фильмах, выпущенных с 2009 по 2015 год

вертированных, более того, в 2009 и 2011 превышение было в 2 раза. Однако с 2013 года количество отконвертированных фильмов уже было больше снимаемых. Причём в 2015 году количество снятых фильмов было уже в 13 раз (!) меньше числа отконвертированных (рис. 2).

Когда автор был в North Hollywood в феврале этого года, ему удалось в последний раз застать компанию Zality Technica (была лидером рынка камер для 3D-съёмки) в старом офисе с павильоном. Со следующей недели они переехали в офис небольшого размера, поскольку у них уже год не было ни одной съёмки фильма. От Cameron Pace Group к тому моменту осталась практически только вывеска, они не снимали ещё дольше. Это означает, что статистика за 2016 год будет с ещё большим перекосом в сторону конвертации.

Если проанализировать бюджеты фильмов, то хорошо видно, что сначала конвертировали фильмы со средними бюджетами, однако уже с 2012 года («эффект Кэмерона») начали массово конвертироваться высокобюджетные фильмы (скачок рынка с 1,1 до 1,8 миллиарда). Это связано с тем, что в высокобюджетном фильме в большинстве сцен так или иначе присутствуют спецэффекты и отрендеренные объекты, которые нужно точно подставлять в каждый кадр, при

Сильные и слабые стороны конвертации при кинопроизводстве

Существуют подробные разборы плюсов и минусов конвертации и съёмки. Детальное описание выходит за рамки этой статьи, поэтому рассмотрим лишь основные причины массового перехода на конвертацию:

- большая техническая сложность, а значит, и стоимость процесса съёмки, необходимость обучать персонал под стерео;
- более низкий процент жалоб на головную боль от зрителей;
- больший контроль над сценой на последнем этапе: сделать эту сцену «трёхмернее», эту – «более плоской», а вылет этого объекта – сильнее – в случае конвертации относительно просто.

Эти три ключевые причины – меньшая стоимость, меньшее количество жалоб на головную боль и больший контроль, вызвали массовый переход к конвертации в прошлом году. При анализе фильмов, законченном нами в прошлом году [1], была хорошо видна разница съёмки и конвертации по отдельным артефактам.

На рис. 4 приведена разница по масштабу между ракурсами. Хорошо видно, что со временем эта проблема постепенно становится всё менее острой, однако фильмы конвертации и компьютерной графики

Во сколько раз конвертированных фильмов больше, чем снятых?

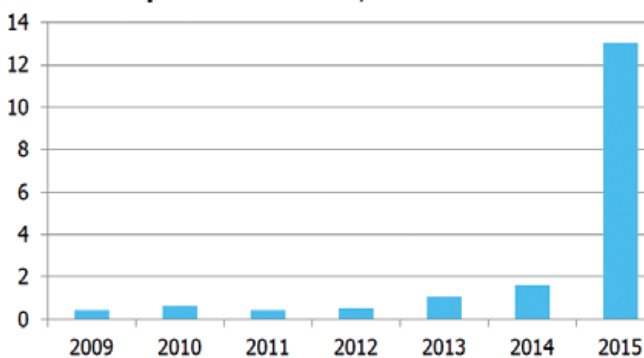


Рис. 2. Отношение отконвертированных фильмов к снятым с 2009 по 2015 год

этом кадры могут быть идеально исправлены только в идеальном мире, и на практике определённые неточности, заметные на большом экране, остаются. Даже в «Аватаре» есть сцены, в которых сцена выровнена не очень хорошо, а отрендеренные объекты – идеально, что вызывает ощущение непонятной странности в сцене. В итоге, при использовании съёмки, у высокобюджетных фильмов сложнее и дороже как сам съёмочный процесс, так и аккуратная обработка фильма после, а при конвертации – есть только обработка с часто фиксированной ценой после, что с развитием специализированных средств конвертации и определило наблюдаемые тенденции (рис. 3):

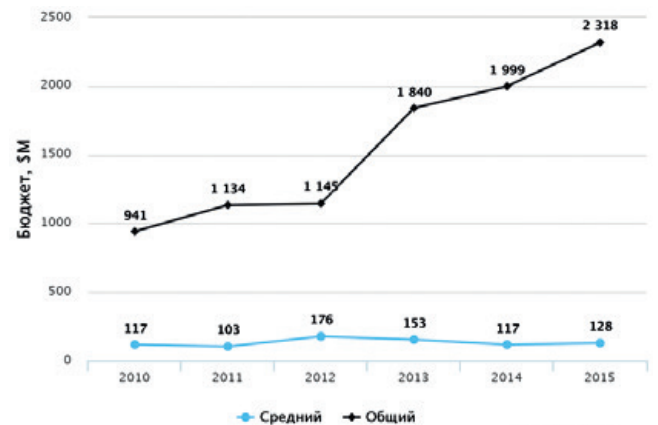


Рис. 3. Суммарный и средний бюджет отконвертированных фильмов с 2009 по 2015 год

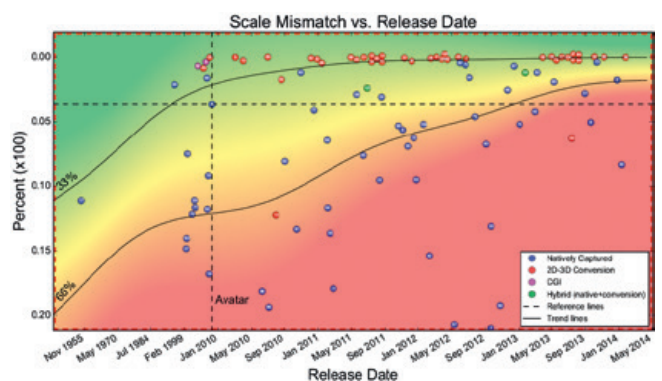


Рис. 4. Разница по масштабу между ракурсами [1] по годам

стабильно в числе лучших. Также видно, что, хотя эта проблема актуальна в первую очередь для съёмки, в 2010 и в 2013 годах были отконвертированные фильмы с серьёзной разницей по масштабу между ракурсами. То есть испортить качество, пропустив в релиз фильма дискомфортную для зрителя разницу по масштабу между ракурсами, можно даже для конвертации (брак технологического процесса). Также заметим, что эта проблема одна из немногих, которая может быть достаточно хорошо исправлена в полностью автоматическом режиме, т.е. процент ложных срабатываний при исправлении может быть очень низок, и наличие этой проблемы сводится только к использованию морально устаревших инструментов контроля и исправления.

Аналогична ситуация и для вращения между ракурсами (рис. 5). Мы видим довольно быстрый прогресс с 2010 до 2014 года. Также видно, что лучшие снятые фильмы фактически достигают параметров отконвертированных фильмов, однако в среднем им необходимо ещё примерно десятикратно улучшить среднюю точность для достижения качества отконвертированных фильмов. Ещё раз отметим, что и вращение, и разница по масштабу между ракурсами – достаточно заметные и дискомфортные проблемы.

Сходна ситуация и в разнице по цвету (рис. 6). Также виден кардинальный прогресс со времён «Аватара», достигнутый, в первую очередь, применением полуав-

томатических профессиональных инструментов, позволяющих привести один ракурс к другому по цвету. Также видно, что показателей отконвертированных фильмов достигло гораздо больше фильмов (в том числе, низкобюджетных), и что в конвертации также встречаются проблемы, однако в целом тенденция одинакова – прогресс, по всей видимости, был недостаточным для того, чтобы оставить съёмку основным процессом.

Поскольку это важно для понимания работы идущих ниже методов, кратко разберём причины проблем в конвертации. Все они так или иначе связаны с тем, что новый кадр делается «искусственно».

Основные проблемы при конвертации:

- восстановление фона за сдвигаемым объектом в так называемой области открытия (рис. 7) и, как следствие, обеспечение большой видимой глубины (depth budget);
- получение границы объекта с картой прозрачности и сдвиг полупрозрачных объектов.

Восстановление фона – это достаточно хорошо известная задача video completion. На данный момент создано много алгоритмов её решения, а также полуавтоматических средств для удаления объектов. Проблема в том, что её решение классическими методами (полное удаление объекта) требует существенных затрат времени оператора, а решение в приложении к стерео (восстановление узкой полоски) проработано относительно слабо. Также наиболее сложным является восстановление фона с движением на нём. Развитие этого класса алгоритмов сейчас активно ведётся, но далеко от решения в общем случае. В этом плане можно ожидать в течение ближайших 5–7 лет появления новых алгоритмов, ориентированных именно на решение этой задачи, а также большей автоматизации данной процедуры, что будет означать дальнейшее снижение себестоимости получения фонов для конвертации.

Сдвиг полупрозрачных объектов – это хорошо известная в научной среде и более сложная задача матирования видео, которая на сегодняшний момент в общем случае не решена. Как следствие, на данный момент приходится применять разные приёмы, которые позволяют так или

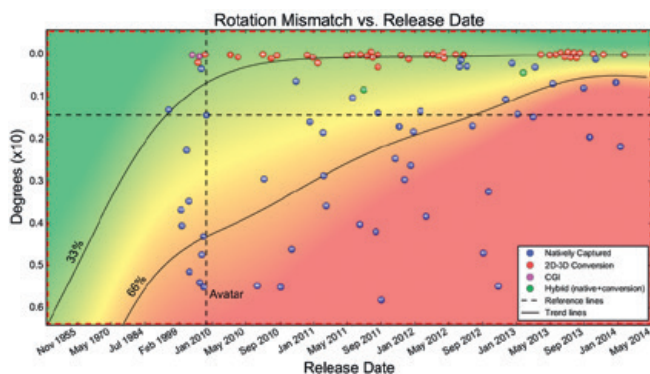


Рис. 5. Вращение одного ракурса относительно другого по годам

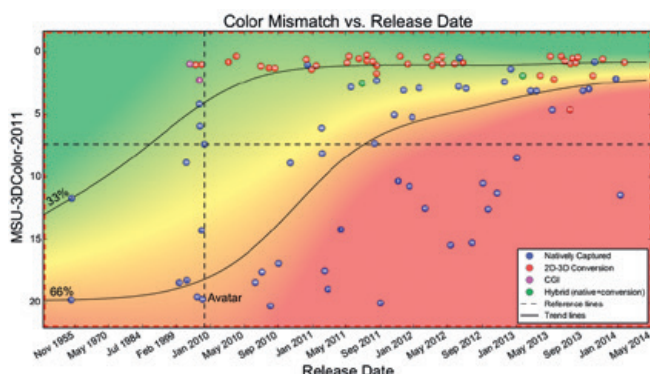


Рис. 6. Различия по цвету между ракурсами по годам



Рис. 7. Области открытия при конвертации кадра

иначе замаскировать текущие ограниченные возможности в обработке полупрозрачных границ. В этой области на данный момент ведутся активные исследования, есть заметный прогресс (см. www.videomattng.com), который сдерживается относительно высокой вычислительной сложностью лучших алгоритмов матирования. Тем не менее, можно с высокой уверенностью утверждать, что в течение ближайших 10 лет задача в первом приближении будет решена. В качестве подтверждения постепенного улучшения результатов в конвертации рассмотрим пару графиков.

Если мы посмотрим на среднюю видимую глубину фильмов в 2010–2011 годах (рис. 8), то хорошо видно, что отконвертированных фильмов было немного, а их средняя видимая глубина была заметно меньше, чем у снятых фильмов. Это означало, что при просмотре в зале с небольшим экраном, а уж тем более на домашнем экране, фильм выглядел визуально «плоским». На первом графике есть фильмы, чья видимая глубина в 4–5 раз меньше, чем видимая глубина «Аватара», и это конвертация. При этом в 2014–2015 годах ситуация заметно меняется. Во-первых, становится больше отконвертированных фильмов, во-вторых, появляется много фильмов, чья видимая глубина даже больше, чем у «Аватара», а «плоские» фильмы почти пропадают.

Ещё лучше разница видна, если проанализировать все фильмы за два временных интервала. Хорошо вид-

но, что к маю 2014 на Blu-ray вышло всего два фильма, видимая глубина которых была больше, чем у «Титаника». При этом хорошая видимая глубина была одной из причин успеха как у «Аватара», так и у «Титаника». И всего через два года мы видим уже 18 фильмов (в 9 раз больше!), чья видимая глубина больше, чем у «Титаника». Т.е. технологии освоены и активно применяются. В каком-то смысле повторяется ситуация 2009 года, когда достаточно аккуратно сделанный «Аватар» задал новую планку стандартов качества, к которой постепенно подтянулись остальные, так и «Титаник» – задал высокую планку качества конвертации, к которой начала двигаться индустрия, активно осваивая большие параллаксы с хорошим качеством в конвертации.

Результаты анализа отконвертированных фильмов

К сожалению, тема контроля качества конвертации, весьма востребованная в студиях, является практически неисследованной в науке. Во многих работах проводится подробный анализ проблем, характерных для стереоскопической съёмки [2–6], однако публикаций, посвящённых качеству конвертации, очень мало (можно отметить работы [7,8]). Ранее нами уже был предложен анализ конвертации на предмет обнаружения плоских объектов переднего плана (cardboard effect), а также метод измерения неоднородной резкости границ [9]. Далее будут кратко представлены ещё три метода анализа.

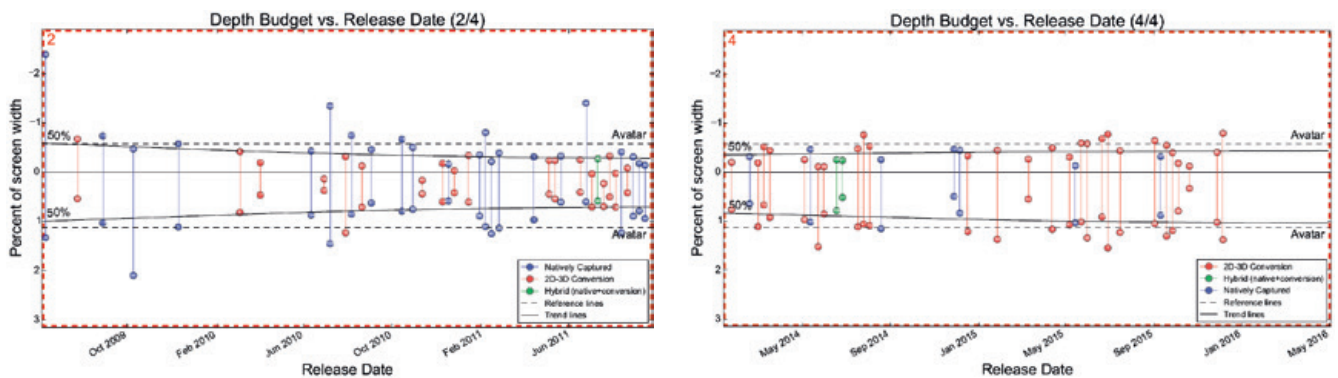


Рис. 8. Средняя видимая глубина фильмов в 2010–2011 и 2014–2015 годах

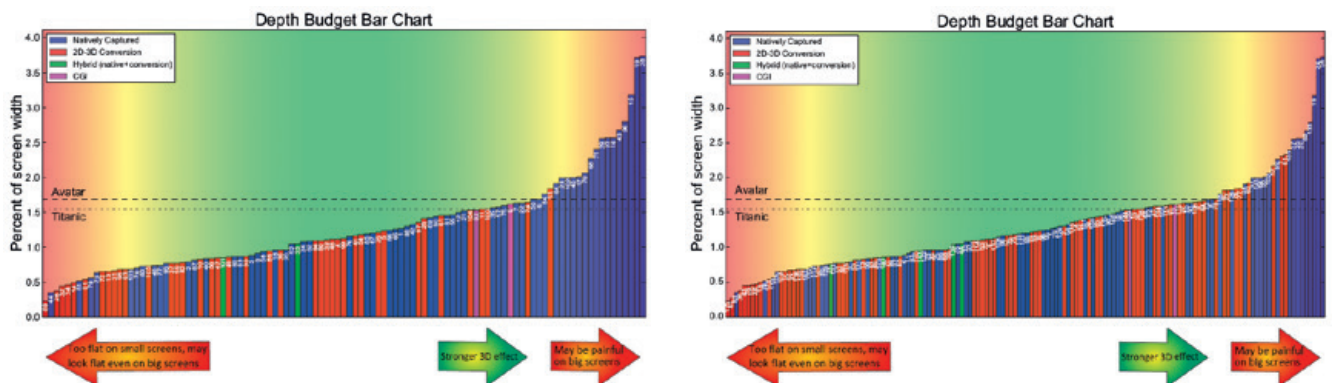


Рис. 9. Средняя видимая глубина фильмов, вышедших на Blu-ray 3D до мая 2014 и до мая 2016, отсортированных по видимой глубине

Анализ в сравнении с 2D-версией

Наиболее логичный и напрашивающийся анализ – это сравнение 3D с исходной 2D-версией, поскольку, как правило, в коробке с Blu-ray 3D есть и 2D-версия. Однако наш опыт показал, что на практике нельзя просто взять и сравнить версии, поскольку они часто отличаются по монтажу, по цвету, а иногда и по разрешению экрана. Соответственно, приходится сначала:

- Сводить фильмы кадр в кадр, что часто является нетривиальной задачей. В качестве побочного продукта появляется карта перемонтажа 3D-версии фильма (отдельных сцен может не быть, что-то может быть добавлено, какие-то сцены короче, какие-то поменялись местами и т.д.).

- Полученные фильмы нужно свести по цветам, поскольку цветокоррекция для 3D делается отдельно и обычно 3D-версия светлее. Хотя мы с удивлением обнаружили и фильмы, в которых часть сцен в 3D стала темнее.

- Определяется разница по полям, соотношению сторон. После этого кадры можно сравнивать.



Рис. 10. Пример существенной деформации объекта переднего плана в 3D-версии, сделанный, чтобы не восстанавливать фон со сложным движением. При этом стерео абсолютно комфортно



Рис. 11. Пример существенной деформации объекта переднего плана в 3D-версии, сделанный, чтобы не восстанавливать фон за полупрозрачной границей

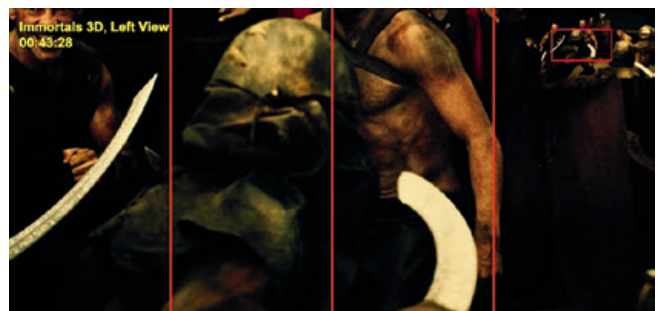
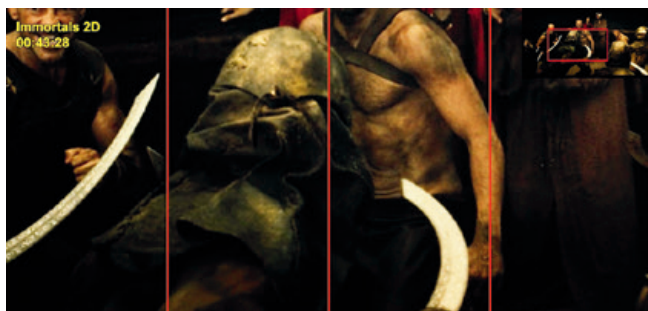


Рис. 12. Пример существенной деформации объекта переднего плана (кинжала) в 3D-версии

К сожалению, выяснилось, что и это не всё, и иногда кадры существенно отличаются по масштабу, причём аккуратному сведению препятствует то, что может быть отмасштабирован и отдельный объект, занимающий значительную часть сцены. Всё это затрудняет анализ. Тем не менее, в целом задача была решена, что позволило проанализировать качество конвертации 40 фильмов. Ниже показаны кадры, которые могут быть несколько дискомфортны, однако в большинстве случаев (например, рис. 10), благодаря заметному изменению кадра, дискомфорта в 3D не будет. Ещё раз подчеркнём: изменение сцены в 3D практически всегда делается, чтобы снизить дискомфорт.

На рис. 11 приведён пример, когда увеличена голова героини, чтобы облегчить матирование видео полупрозрачных волос по краям головы. В этом случае стерео может выглядеть несколько странно за счёт непропорционального размера головы. При этом именно дискомфорта из-за качества 3D не будет.

На рис. 12 кинжал был сделан существенно толще, чтобы не восстанавливать фон за ним, на

рис. 13 фон за объектом был существенно деформирован, а лицо человека на экране перекрашено, чтобы сделать менее заметным наложение объекта на фон.

Интересно, что иногда даже в высокобюджетных фильмах, даже в сценах, сделанных явно с использованием компьютерной графики, фон также «маскируется» (на рис. 14 – дымом), чтобы правильно построить границу. Это означает, что у студии, осуществлявшей конвертацию, не было исходной сцены в 3D или хотя бы отрендеренной «по слоям» (достаточно стандартный формат передачи сцен на конвертацию сегодня).

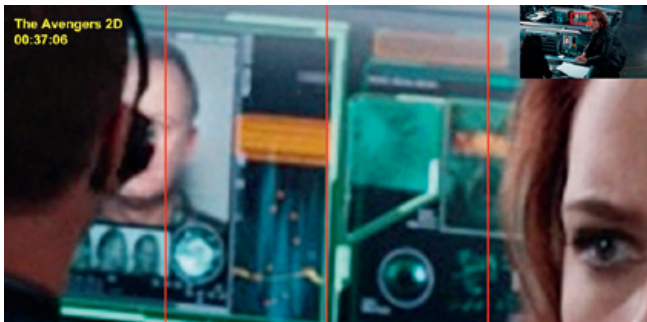


Рис. 13. Пример деформации фона, сделанный, чтобы за объектом был известный фон



Рис. 14. Пример «маскировки» фона в 3D-версии

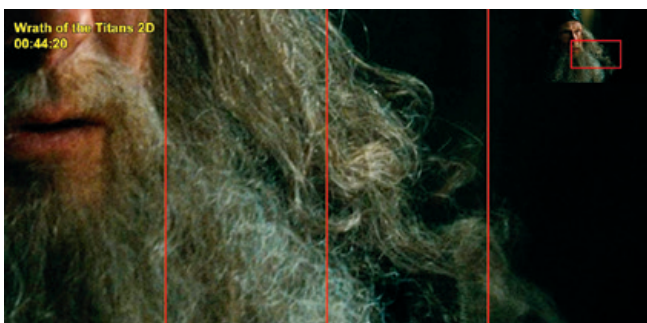


Рис. 15. Пример наложения волос, чтобы сделать полупрозрачный край объекта более широким и известным

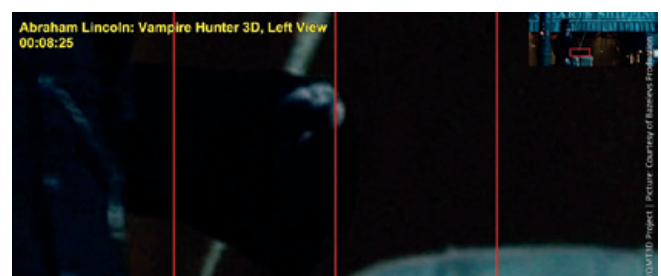


Рис. 16. Пример странного удаления руки главного персонажа в кадре

лена часть руки основного персонажа сцены, что может смотреться странно, но, опять же, не дискомфортно.

К сожалению, формат статьи не позволяет привести большое количество примеров. Везде выше приводится отметка времени кадра, поэтому при желании можно найти соответствующий кадр и посмотреть, как это выглядит в реальном фильме.

Анализ движения в кадре

Следующий метод довольно подробно описан в [10], поэтому приведём только суть и основные результаты. Основная идея заключается в том, что анализируется движение в кадре и карта диспаратности. Соответственно находятся области, где объект переднего плана имеет ту же глубину, что и фон, что воспринимается уже дискомфортно.

Например, на рис. 17 восстанавливать фон и блики на герое, на которого заведомо по построению сцены смотрит зритель, было сложно, поэтому руку с посохом не подняли по глубине (т.е. сэкономили), что при просмотре будет смотреться странно и дискомфортно (сцена будет невозможной в реальной жизни).

На рис. 18 также видно, как ключевой объект в сцене не поднят по глубине над фоном. Когда такое происходит где-то на краю кадра – это часто не так важно, и мы не приводим многочисленные примеры такого рода, однако когда это происходит с ключевым объектом, на который по компоновке сцены смотрит зритель, проблема будет заметна, и экономить в этом случае не стоило.



Рис. 17. Пример сцены высокобюджетного фильма, когда объект в центре кадра имеет некорректную глубину. Красным цветом обозначены границы объектов, которые отсутствуют на карте глубины

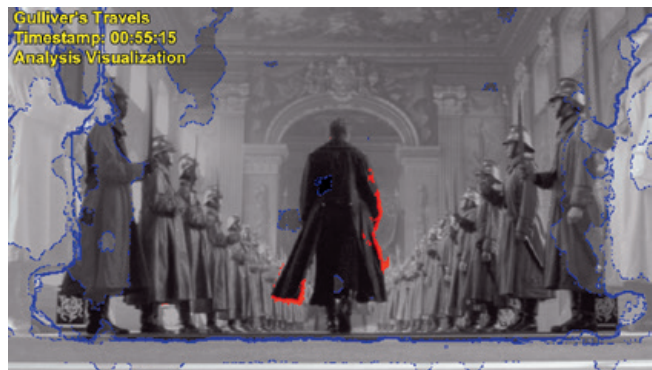


Рис. 18. Главный объект сцены практически полностью находится на глубине фона, который намного дальше. Невозможная сцена



Рис. 19. Примеры отсутствия разделения глубины на переднем плане в отдельных сценах высокобюджетных фильмов

К сожалению, проблема встречается не только в низкобюджетных, но также и в высокобюджетных фильмах (рис. 19). К счастью, намного реже.

Также на рис. 20 хорошо видно, что проблема наиболее актуальна для фильмов 2010–2012 годов и постепенно становится менее и менее актуальной в более поздних фильмах. Всего было найдено 125 сцен в тридцати девяти проверенных фильмах.

Наиболее интересен этот результат тем, что данная проблема в отконвертированных фильмах на практике действительно может вызывать дискомфорт у чувствительных людей. В подавляющем большинстве случаев современные инструменты позволяют сделать эти сцены в полном качестве за то же время и даже быстрее без подобной экономии.

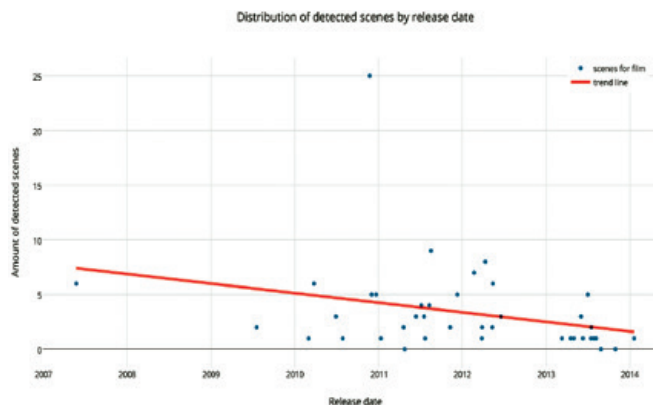


Рис. 20. Количество обнаруженных сцен с проблемами по годам и линия тренда

Также заметим, что лидером списка является единственный отконвертированный выпущенный на Blu-ray 3D к моменту анализа отечественный фильм «Щелкунчик» (2010). Согласно пресс-релизам, на его конвертацию было потрачено 10,9 миллиона долларов – сумма вполне сопоставимая и даже большая, чем у аналогичных фильмов того времени. Однако фильм отконвертирован с крайне низким качеством, заметно хуже большинства, и в 2011 фильм был номинирован на звание худшего фильма года в 3D – "Worst Eye-Gouging Misuse of 3D", являясь при этом на тот момент самым дорогостоящим фильмом, профинансированным за счёт российских источников.

Анализ сцен по типу производства

Наличие большого количества методов, измеряющих параметры стерео, позволило нам разработать уникальный классификатор, позволяющий с довольно высокой точностью разделять сцены фильма на полученные с помощью съёмки, конвертации или рендеринга.

В итоге в 65 снятых фильмах удалось найти 456 подтверждённых сцен, полученных конвертацией. При этом, большинство подобных сцен в фильмах со средним и низким бюджетом, сделаны без использования специальных инструментов и навыков с крайне низким качеством и заметной деформацией объектов.

Данный метод ориентирован на свою специфичную задачу и относительно узкий класс фильмов, однако он позволяет находить реальные сцены с конвертацией низкого качества, которые могут вызвать дискомфорт при просмотре.

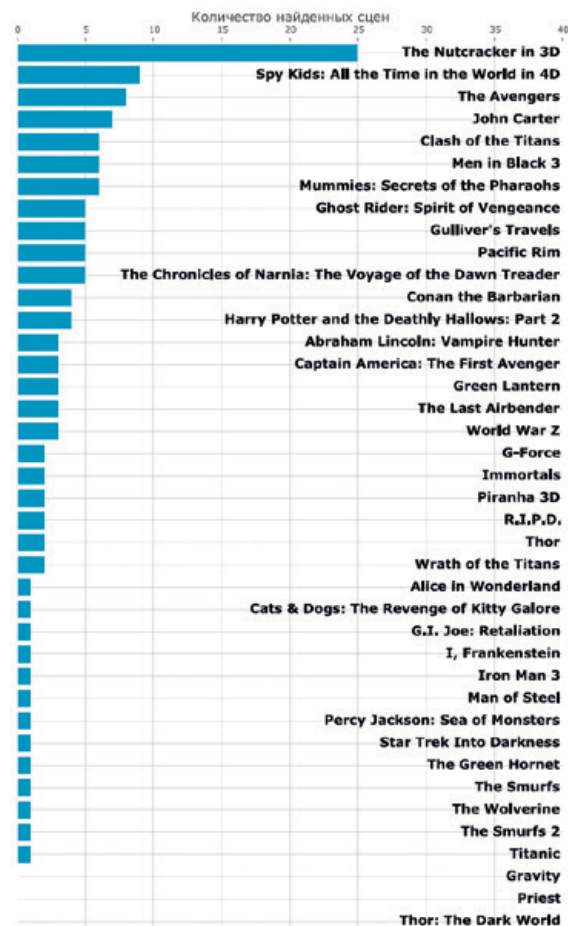


Рис. 21. График количества найденных подтверждённых сцен по фильмам



Рис. 22. Деформация объекта в низкобюджетной конвертации в фильме «Dredd»



Рис. 23. Деформация объекта в низкобюджетной конвертации в фильме «Bait»

Заключение

Несмотря на появление относительно дешёвых и быстрых технологий исправления проблем снятого стерео, позволивших в последние 2–3 года низкобюджетным фильмам достичь качества, ранее достигавшегося только блокбастерами (см. примеры в [1]), недостаточная скорость распространения наиболее эффективных технологий, а также ощутимо большая сложность съёмочного процесса, вызвала массовый отказ от съёмки стерео в пользу конвертации из 2D. При этом в случае конвертации появление дискомфорта стереоизображения хотя более редко, но возможно.

Кардинальное увеличение числа конвертируемых фильмов вызвало совершенствование технологий конвертации и повышение их эффективности. Некоторые студии декларируют многократное повышение скорости конвертации при более низких затратах и более высоком качестве. Интересно, что нам доводилось видеть использование технологий, характерных для конвертации, при исправлении и изменении снятых фильмов. То есть, сложные методы цифровой обработки кадров, освоенные и развитые при конвертации, позволяют совершать немислимые ранее манипуляции со снятыми на стерео объектами сцен, в каком-то смысле развязывая руки при съёмке.

На данный момент коллективом лаборатории компьютерной графики ВМК МГУ им. М.В. Ломоносова разработано пять методов измерения качества конвертации. Также к конвертации применимы порядка десятка универсальных методов контроля. Тестовое применение по-

казывает возможность большего контроля над процессом конвертации, а также быструю диагностику ошибок, что ускоряет диагностику и заметно уменьшает вероятность попадания в релиз фильма кадров и сцен с заметными проблемами.

Хотелось бы верить, что в эту волну интереса к стерео совместными усилиями удастся справиться с основными проблемами, вызывающими дискомфорт, и стерео наконец-то получит шанс стать по-настоящему массовым.

Благодарности

Хотелось бы сердечно поблагодарить:

– наших коллег Алексея Шалпегина, Станислава Долганова, Сергея Звездакова, результаты чьих методов контроля качества представлены выше, а также других членов видеогруппы, благодаря которым представленные выше алгоритмы были созданы, а результаты посчитаны,

– проект VQMT3D за все иллюстрации и данные для статьи,

– компании Intel, Cisco, Verizon и YUVsoft за серьёзную поддержку проекта и то, что им не безразлично качество стереофильмов,

– Лабораторию компьютерной графики ВМК МГУ им. М.В. Ломоносова за вычислительные мощности,

– и, наконец, очень благодарим всех за большое количество дельных замечаний и правок, сделавших этот текст намного лучше! ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. *Vatolin D., Bokov A., Erofeev M., and Napadovsky V.*, "Trends in S3D-Movie Quality Evaluated on 105 Films Using 10 Metrics," in *Stereoscopic Displays and Applications XXVII*, 2016.
2. *Khaustova D., Fournier J., Wyckens E., and Le Meur O.*, "An objective method for 3D quality prediction using visual annoyance and acceptability level," in *IS&T/SPIE Electronic Imaging*, pp. 93910P–93910P, 2015.
3. *Chen J., Zhou J., Sun J., and Bovik A. C.*, "Binocular mismatch induced by luminance discrepancies on stereoscopic images," in *IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, pp. 1–6, 2014.
4. *Goldmann L., Lee J.S., and Ebrahimi T.*, "Temporal synchronization in stereoscopic video: Influence on quality of experience and automatic asynchrony detection," in *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 3241–3244, 2010.
5. *Dong Q., Zhou T., Guo Z., and Xiao J.*, "A stereo camera distortion detecting method for 3DTV video quality assessment," in *Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA)*, pp. 1–4, 2013.
6. *Winkler S.*, "Efficient measurement of stereoscopic 3D video content issues," in *IS&T/SPIE Electronic Imaging*, pp. 90160Q–90160Q, 2014.
7. *Solh M. and AlRegib G.*, "A no-reference quality measure for DIBR-based 3D videos," in *IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*, pp. 1–6, 2011.
8. *Kakaletsis E. and Nikolaidis N.*, "A technique for fake 3D (2D-to-3D converted) video recognition," in *23rd European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, pp. 106–109, 2015.
9. *Bokov A., Vatolin D., Zachesov A., Belous A., and Erofeev M.*, "Automatic detection of artifacts in converted S3D video," in *Stereoscopic Displays and Applications XXV, Proceedings of SPIE Vol. 9011 (SPIE, Bellingham, WA 2014)*, 14 pages, 901112.
10. *Dolganov S., Erofeev M., Vatolin D., and Gitman Y.*, "Detection of stuck-to-background objects in converted S3D movies," in *International Conference on 3D Imaging (IC3D)*, Liege, 2015, pp. 1–6.



ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОСТРАНСТВА, воспроизводимого автостереоскопической многокурсовой системой

(Доклад на XIII Международной конференции «ГолоЭкспо-2016»,
13–15 сентября 2016, город Ярославль, РФ)



■ Ю.Н. Овечкис, д.т.н., ovechkis@yandex.ru, А.И. Винокур, д.т.н., профессор,
alex.vinokour@gmail.com, МГУП им. Ивана Фёдорова, РФ ■

Аннотация

В докладе рассматривается обобщённая модель системы формирования многокурсового автостереоскопического изображения (голографического или растрового). Показано, что при отсутствии изменения ракурсов в вертикальном направлении, независимо от количества формируемых горизонтальных ракурсов и размеров элементарных зон видения, глубина воспроизводимого пространства ограничена. Получены аналитические выражения для её определения и установлено, что эта величина лежит в пределах глубины резкости глаза наблюдателя, сфокусированного на плоскость формирования изображений ракурсов. Пояснение данного ограничения – невозможность аккомодации глаз наблюдателя на рассматриваемый элемент изображения даже при бесконечно большом количестве ракурсов в одном (горизонтальном) направлении.

Ключевые слова: 3D визуализация, многокурсовая автостереоскопическая система, ракурс, зона видения, глубина резкости, стереоскопия, голография, стереоголография, растр, линзовый растр, объёмное изображение.

■ Системы воспроизведения объёмных изображений без применения очков и других специальных приспособлений всегда привлекали внимание и вызывали

THE SPACE DEPTH FORMED BY THE MULTIVIEW AUTOSTEREOSCOPIC SYSTEM

Yu. Ovechkis, Dst., ovechkis@yandex.ru, A. Vinokur, Dst, Prof. alex.vinokour@gmail.com, Moscow State University of Printing Arts, Russia

Abstract

The generalized model of a system for multi-view autostereoscopic image (holographic or raster) forming, is discussed in the report. It is shown that in the absence of changes of views in the vertical direction regardless of the number of generated horizontal views and sizes of the elementary zones of viewing, the depth of the space is limited. Analytical expressions for its determination are obtained and it is established that its value lies within the depth of sharpness of the observer's eye that focused at the plane of the views images forming. An explanation for this limitation is the impossibility of accommodation of the eyes of the observer on a given element of the image even when there is an infinitely large number of views in one (horizontal) direction.

Keywords: 3D visualization, multi-view autostereoscopic system, view, zone of viewing, the depth of sharpness, stereoscopy, holography, stereoholography, raster, lens raster, three-dimensional image.

большой интерес как у разработчиков, так и потребителей подобной техники. Подобные системы могут и частично уже используются в рекламе, телевидении,

различных устройствах, на выставках и т.п. Достаточно широкое распространение среди них получили многоракурсные автостереоскопические устройства, формирующие объёмные изображения только с горизонтальным изменением ракурсов. Для их создания используют линзорастровые [1–3] или голографические методы [4–6].

Не углубляясь в технологические подробности создания таких линзорастровых и стереоголографических изображений, отметим, что общим для них является формирование плоскости, в которой в закодированном виде сосредоточены изображения всех ракурсов демонстрируемого объекта и плоскости зон раздельного видения этих ракурсов. Поскольку число ракурсов в таких устройствах ограничено, и чрезмерное его увеличение обычно связано с технологическими трудностями, представляется необходимым определить достаточное количество ракурсов, формируемых системой, и связать его с глубиной воспроизводимого пространства.

Рассмотрим автостереоскопическую систему (рис. 1) с горизонтальным изменением ракурсов, формирующую в пространстве вертикальную плоскость их изображений I , а также вертикальную плоскость зоны видения V , состоящую из элементарных зон видения каждого ракурса V_i , представляющих собой вертикальные полосы шириной d . Ширина общей зоны видения $D = N \cdot d$, где N – число ракурсов системы.

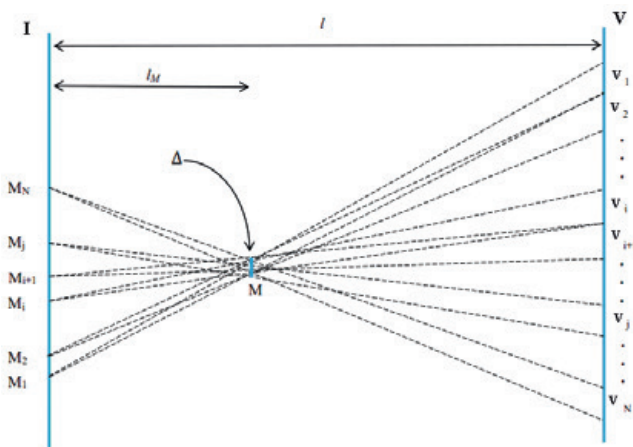


Рис. 1. Обобщённая модель системы формирования автостереоскопического многоракурсного изображения

Предполагаем также, что система идеальная, т.е. границы зон видения достаточно резкие и не пересекаются. Стереоскопический образ некоторой точки M , находящейся в предэкранном пространстве, формируется точками $M_1, M_2 \dots M_i, M_{i+1} \dots M_j \dots M_N$ плоскости I .

Сначала рассмотрим случай, когда $d > b_{rn}$, где b_{rn} – диаметр зрачка глаза, и оба глаза находятся внутри пары соответствующих главному базису элементарных зон, например M_i и M_j . При неподвижном положении наблюдателя или при его небольшом смещении в пределах этой пары, он увидит обычное стереопарное изображение точки M . При перемещении глаз наблюда-

теля в соседние пары зон M_{i+1} и M_{j+1} появляются новые ракурсы, что обеспечивает возможность оглядывания предъявляемого объекта съёмки.

Однако на границе элементарных зон происходит скачок изображения. Он обусловлен тем, что при смещении глаз внутри одной пары элементарных зон наблюдаемое стереоизображение перемещается параллельно плоскости I в пределах площадки Δ (рис. 1) от одного её края в начале перемещения до другого в конце. При переходе в соседнюю пару зон изображение скачком возвращается в начальное положение.

Этот скачок тем больше, чем дальше изображение точки M находится от плоскости I формирования разноракурсных изображений и чем больше размер элементарных зон d (рис. 1). Нетрудно показать, что угловая величина β сдвига изображения относительно наблюдателя при оглядывании в пределах одной пары зон, равна:

$$\beta = \Delta / (l + l_M) = d^* l_M / l * (l + l_M), \quad (1)$$

где l и l_M – расстояния от плоскости изображения ракурсов I до плоскости зон видения V и стереоскопического изображения M , соответственно, знак "+" относится к изображению, расположенному за плоскостью I , знак "-" – перед ней по отношению к наблюдателю.

Если зрачок находится на границе двух зон, например, V_i и V_{i+1} изображение будет двоиться, в глаз попадут одновременно два ракурса M_i и M_{i+1} (рис. 1). При этом угловой размер этого сдвоенного пятна, как нетрудно видеть, также определяется выражением (1).

Таким образом, накладывая естественное требование незаметности скачков и двоения при оглядывании многостереопарного (многоракурсного) изображения, потребуем, чтобы выполнялось условие $\beta < \beta_{rn}$, где β_{rn} – угловое разрешение глаза наблюдателя. В результате получаем ограничение на допустимую глубину изображаемого пространства (для заданного размера элементарных зон видения):

$$l_M < \beta_{rn} l^2 / (d \pm \beta_{rn} l), \quad (2)$$

где "-" относится к изображению, расположенному за плоскостью I , а "+" – перед ней.

Если размер элементарной зоны d в системе меньше диаметра зрачка, в глаз всегда будут попадать более одного изображения различных ракурсов. В этом случае для наблюдения единого достаточно резкого изображения данной точки её максимальное удаление от плоскости фокусировки стереопары должно удовлетворять выражению (3), в котором размер элементарной зоны видения d заменён на диаметр зрачка b_{rn} :

$$l_M < \beta_{rn} l^2 / (b_{rn} \pm \beta_{rn} l), \quad (3)$$

где "-" относится к изображению, расположенному за плоскостью I , а "+" – перед ней.

Данное выражение определяет максимальную глубину формируемого многокурсного изображения с заданным разрешением ($\beta_{гн}$) при размере элементарной зоны видения, равном диаметру зрачка глаза. Необходимое число ракурсов при этом $N = D/b_{гн}$ и дальнейшее его увеличение, вообще говоря, не требуется. Здесь необходимо отметить, что если при создании системы допустить некоторую заметную размытость формируемого изображения, т.е. выйти за пределы $\beta_{гн}$, то чтобы устранить возникшее дробление картинки, целесообразно уменьшить поперечный размер элементарных зон видения по сравнению с диаметром зрачка глаза. При этом следует иметь в виду, что в реальных системах имеется ряд технологических факторов, приводящих к ухудшению качества изображения – абберации линз раstra, хроматизм голограмм, протяжённость источников света для их восстановления и пр., а вследствие этого упомянутое двойное будет отсутствовать.

Анализ выражения (3) показывает, что оно определяет не что иное, как глубину резкости глаза, расположенного в плоскости зон видения и сфокусированного на плоскость формирования стереопары. Т.е. максимальная глубина объёмной сцены, формируемой многостереопарным методом при условии возможности её непрерывного оглядывания, определяется глубиной резкости глаза наблюдателя. При этом уменьшение размеров элементарных зон видения и, соответственно, увеличение числа ракурсов не приводит к возможности увеличения глубины сцены при заданном критерии резкости $\beta_{гн}$.

Физический смысл такого ограничения объясняется тем, что в отличие от наблюдения реальных объектов или их голографических или оптических образов, в которых параллаксы меняются непрерывно в горизонтальном и вертикальном направлениях, и глаза имеют возможность аккомодироваться (сфокусироваться) на разглядываемую точку, в случае стереоскопического предъявления с отсутствием вертикального параллакса глаза всегда сфокусированы на одну плоскость – плоскость формирования стереопар (плоскость / на рис. 1).

Расчёты показали хорошее соответствие с известными экспериментальными данными, как в части линзо-растровых изображений, так и стереоголографических.

Заключение

– независимо от количества формируемых в системе ракурсов и размеров элементарных зон видения глубина воспроизводимого пространства с заданным разрешением ограничена;

– максимальная глубина пространства, воспроизводимого системой, лежит в пределах глубины резкости глаза наблюдателя, сфокусированного на плоскость формирования изображений ракурсов. При этом ширина зоны видения одного ракурса для слитного восприятия должна равняться диаметру зрачка глаза (4 мм). Дальнейшее уменьшение ширины этой зоны не приводит к увеличению возможной глубины воспроизводимого пространства. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. *Валюс Н.А.* Стереодиагностика. Стереоскопическое кино. Стереотелевидение, М.: Искусство, 1986.
2. *Elkhov V.A., Kondratiev N.V., Ovechkis Y.N., Pautova L.V.* A Modular Projection Autostereoscopic System for Stereo Cinema, "Stereoscopic Displays and Applications XX", San Jose, California, US, SPIE Vol. 7237, pp. 72370D-1 – 72370D-11, 19–21 January 2009.
3. *Berkel van C., Parker D.W., Franklin A.R.* Multi-view LCD Display, Proc SPIE. Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III. Vol. 2653, P. 32–39, 1996.
4. *Баканас Р., Захаровас С.* Цифровая изобразительная голография для музеев, Мир Техники Кино, 2011, №22, с. 20–21.
5. *Brotherton-Ratcliffe David.* Large format digital Colour Holograms Produced using RGB Pulsed Laser Technology, Proc. 7th International Symposium on Display Holography, ISBN 0955352711, pp. 200–209, 2006, UK.
6. *Zacharovas Stanislovas.* Advances in Digital Holography, IWHM 2008 International Workshop on Holographic Memories Digests, pp. 55–67, 2008, Japan.

REFERENCES

1. *Values H.A.* The Stereoscopic. Photography, Stereoscopic Cinema, Stereoscopic. Television, M.: Iskusstvo, 1986.
2. *Elkhov V.A., Kondratiev N.V., Ovechkis Y.N., Pautova L.V.* A Modular Projection Autostereoscopic System for Stereo Cinema, "Stereoscopic Displays and Applications XX", San Jose, California, US, SPIE Vol. 7237, pp. 72370D-1 – 72370D-11, 19–21 January 2009.
3. *Berkel van C., Parker D.W., Franklin A.R.* Multi-view LCD Display, Proc SPIE. Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems III. Vol. 2653, P. 32–39, 1996.
4. *R. Bakanas, S. Zacharovas.* Digital image holography for museums, World of Technique of Cinema. 2011, №22, p. 20–21.
5. *Brotherton-Ratcliffe David.* Large format digital Colour Holograms Produced using RGB Pulsed Laser Technology, Proc. 7th International Symposium on Display Holography, ISBN 0955352711, pp. 200–209, 2006, UK.
6. *Zacharovas Stanislovas.* Advances in Digital Holography, IWHM 2008 International Workshop on Holographic Memories Digests, pp. 55–67, 2008, Japan.



Введение в иконку изобразительных голограмм. ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЦВЕТА

(Доклад на XIII Международной конференции «ГолоЭкспо-2016»,
13–15 сентября 2016, город Ярославль, РФ)



А.И. Шварцвальд, к.х.н, shvarcvald@pereslavl.ru,
Университет города Переславля им. А.К. Айламазяна, РФ

■ Задача иконки изобразительных голограмм – изучение общих свойств голографических изображений с учётом специфики зрительного восприятия, установление правил изготовления и наблюдения голограмм, обеспечивающих наиболее полное и комфортное наблюдение объёмного изображения, используя положения и законы иконки [1, 2].

Одна из главных и наиболее сложных задач цветной голографии – обеспечить максимальное соответствие цвета изображения, формируемого голограммой, цвету реального объекта, освещённого дневным светом.

Это особенно важно относительно голограмм исторических объектов, художественных произведений и портретов людей.

Исследование выполнено относительно способа изготовления изобразительных голограмм Денисюка, который отличается:

- использованием толстых прозрачных фотографических слоёв,
- применением встречных пучков при записи голограммы,
- образованием селективных голографических зеркал в слое голограммы,
- возможностью восстановления объёмного изображения дневным светом.

Цвет поверхности реального объекта определяется:

- отражательными характеристиками поверхности,
- характеристиками прозрачности объекта,
- спектром освещающего света, его интенсивностью,

- положением источников освещения относительно объекта,
- положением поверхностей объекта относительно точки наблюдения.

Восприятие цветного изображения органом зрения

Оптическая система глаза создаёт на сетчатке глазного дна сфокусированное цветное изображение.

Сетчатка содержит три сорта колбочек с различными светочувствительными веществами, которые при поглощении фотонов создают электрические импульсы (рис. 1).

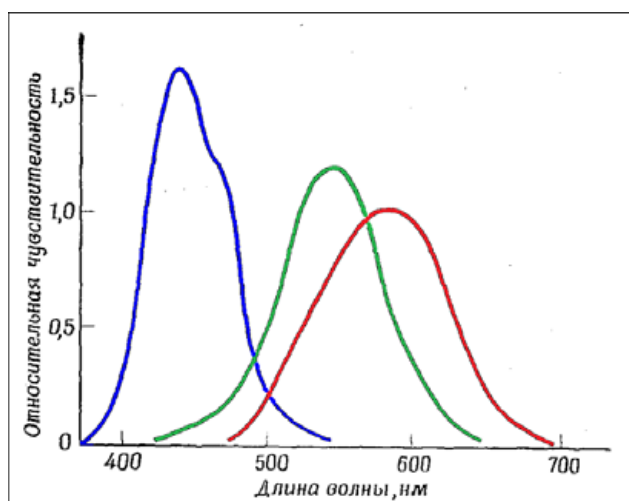


Рис. 1. Кривые энергетической спектральной чувствительности (по Томсону и Райту) [3]

В каждую колбочку попадает поток фотонов, отражённых от конкретного микроучастка поверхности объекта.

Электрические импульсы одинаковые, независимо от энергии фотонов и вещества колбочек [3]. Орган зрения оперирует интенсивностью только трёх видов электрических импульсов.

Анализ спектров светочувствительности

1. Орган зрения реагирует не на весь видимый диапазон естественного света одинаково. Квантовый выход у фотонов различной энергии различен.

2. У каждого вещества колбочек свой рабочий диапазон энергий фотонов. Диапазоны частично перекрываются. Фотоны этих диапазонов одновременно генерируют электрические сигналы в колбочках разного вида.

3. В каждом диапазоне колбочек пары фотонов с различной энергией обладают одинаковой квантовой эффективностью в правой и левой ветвях кривых «чувствительность – длина волны».

Фотоны, обладающие энергией определённого диапазона, создают электрический импульс в соответствующем информационном канале, принадлежащем виду колбочек.

Интересно отметить, что гипотеза о трёхкомпонентной природе цветного зрения впервые выдвинута М.В. Ломоносовым в 1756 году в работе «Слово о происхождении света, новую теорию о цветах представляющую».

У фотонов различной энергии различный квантовый выход (КВ) фотохимической реакции. Вследствие этого при воздействии одного вида фотонов на колбочку относительная интенсивность потока электрических импульсов соответствует энергии фотона. Фотоны цветных диапазонов возбуждают в одном, двух или трёх сортах колбочек электрические сигналы, количество которых в единицу времени (частота) определяется интенсивностью потока фотонов и квантовым выходом, зависящим от энергии фотонов. Разность относительной интенсивности потоков фотонов в отдельных участках сетчатки система зрения воспринимает как цвет и его яркость.

Процесс функционирования системы зрения носит квантовый характер. Один фотон света в соответствии со вторым законом фотохимии Эйнштейна может вызвать фотохимическую реакцию только одной молекулы. Целесообразно при описании процесса зрения использовать квантовые спектры, что приведёт к пересмотру количественных оценок процесса восприятия света.

Например, исследование квантового спектра Солнца привело к открытию равноквантовых полос, не обнаруженных в энергетическом спектре [4].

Наблюдение объекта, освещённого лазерным светом

Интенсивность отражённого света, образующего изображение на сетчатке глаза, определяется:

- * отражательными характеристиками участков поверхности,
- * интенсивностью освещающего света,
- * положением источников освещения относительно объекта,
- * положением поверхностей объекта относительно точки наблюдения.

При рассматривании объекта, освещённого лазером, на сетчатке глаза образуется одноцветное изображение объекта различной интенсивности по поверхности сетчатки. Система зрения получает набор интенсивностей, который создаёт иллюзию различных цветов поверхности объекта. Следовательно, в условиях освещения объекта лазером цвет поверхности, создаваемый зрительной системой, не соответствует цвету, отражённому поверхностью объекта.

При освещении объекта с поверхностью, шероховатой в масштабе оптических длин волн, когерентным светом изображение кажется зернистым, с множеством светлых и тёмных пятен [5]. Это спекл-структура, являющаяся дефектом изображения, который устраняют при записи голограммы.

Создание и наблюдение цветного голографического изображения при записи одноцветным лазером (моноцветная голограмма)

При записи голограммы в зоне взаимодействия объектного светового потока с опорным образуется монохромная интерференционная картина стоячих волн с различной глубиной модуляции.

Наряду с информацией о положении точек поверхности объекта в пространстве, интерференционная картина содержит всю информацию об интенсивности потока фотонов, отражённых соответствующими точками поверхности объекта.

В случае изменения поляризации отражённого света происходит ослабление отражённого света, участвующего в создании интерференции, глубина модуляции уменьшается.

Интерференционную картину регистрируют в светочувствительном слое, который после химико-фотографической обработки становится голограммой объекта. Голограмма – набор систем селективных зеркал, способных отражать поток фотонов определённой энергии. Моноцветная голограмма, записанная по схеме Денисюка, содержит информацию об отражательной способности участков поверхности объекта в направлении плоскости голограммы относительно цвета приращённого лазера.

В процессе восстановления изображения объекта посредством освещения голограммы белым светом происходит селективное отражение потоков фотонов. Поток фотонов, отражённый голограммой, не является монохроматическим.

Отражательная способность голограммы характеризуется параметром «дифракционная эффективность»

(ДЭ). Вследствие несовершенства регистрирующего материала системы селективных зеркал также несовершенны, отражательная способность зеркал не достигает 100% и распространяется на некоторую область спектра около максимума интенсивности потока отражённых фотонов. Характерная зависимость ДЭ от длины волны фотонов представлена на рис. 2.

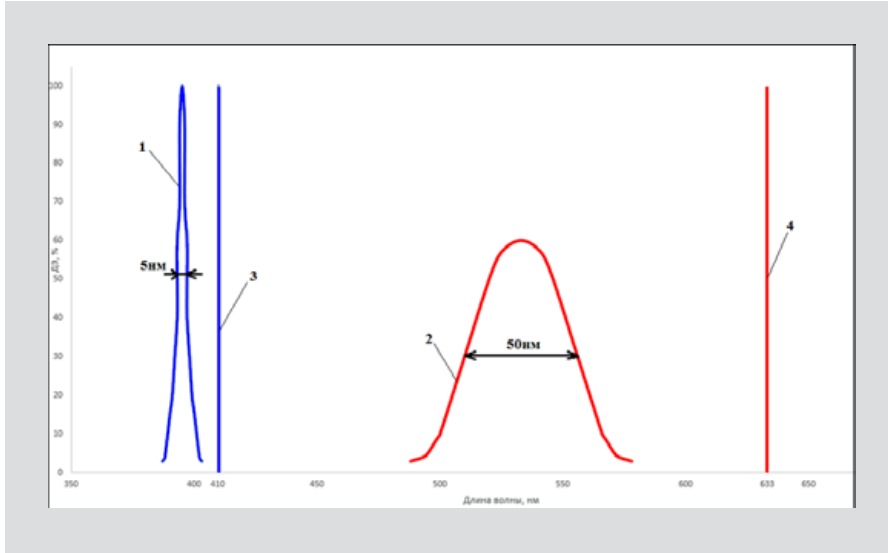


Рис. 2. Зависимость ДЭ от длины волны восстанавливающего света: 1 – ПФГ-04(БХЖ); 2 – ПФГ-03 (AgHal); 3, 4 – длина волны лазера

Максимальное значение ДЭ характеризует совершенство системы селективных зеркал голограммы и зависит от типа фотоматериала и режима химико-фотографической обработки.

Положение максимума ДЭ на оси длины волны фотона зависит от усадки фотослоя в процессе химико-фотографической обработки. Регулируя усадку фотослоя, можно обеспечить сдвиг максимума ДЭ в коротковолновом или длинноволновом направлении, или обеспечить нулевую усадку.

Важная характеристика совершенства системы селективных зеркал голограммы – значение полуширины кривой зависимости дифракционной эффективности от длины волны света, отражённого голограммой. Так, для галогенсеребряных фотослоев типа ПФГ-03 эта величина порядка 50 нм, а для фотослоев бихромированной желатины может достигать 2–5 нм. Ширина спектра зависит от свойств регистрирующего фотоматериала и режима химфотообработки. Увеличение параметра ДЭ вызывает уменьшение полуширины кривой ДЭ.

При рассматривании голограммы в глаз наблюдателя попадают потоки фотонов, по энергии и интенсивности соответствующие значениям ДЭ участков голограммы. Фотоны воздействуют на колбочки соответствующего вида. Формируется основной поток электрических сигналов и ложные потоки, которые воспринимаются систе-

мой зрения как соответствующий цвет. Этот эффект используется в изобразительной голографии для создания более комфортных условий наблюдения моноцветных голограмм.

Свойства идеальной моноцветной голограммы

Характеристика идеального режима:

- фотослой – бихромированная желатина;
- лазер, излучающий в диапазоне, где работают только синие колбочки;
- дифракционная эффективность 100%;
- нулевая усадка фотослоя;
- нулевая ширина спектра ДЭ;
- поверхность объекта не изменяет поляризацию лазерного излучения;
- участки поверхности объекта обладают различной отражательной способностью к синему свету.

В условиях получения идеальной моноцветной голограммы цвет поверхности восстановлен-

ного изображения объекта соответствует цвету объекта, освещённого лазером.

Свойства реальной одноцветной голограммы

Информация об энергии и интенсивности потока фотонов, содержащаяся в интерференционной картине фотослоя, искажена в голограмме наличием спектра ДЭ голограммы и сдвигом максимума ДЭ.

При записи моноцветных голограмм основные помехи точному воспроизведению цвета: изменение поляризации отражённого потока фотонов, недостаточная ДЭ фотоматериала, сдвиг максимума ДЭ в результате усадки фотослоя при химфотообработке, цветной шум, как следствие несовершенства фотоматериала.

Реальные характеристики фотоматериала могут быть улучшены в результате усовершенствования технологии их производства и применения.

Запись голограммы тремя цветными лазерами

Для получения цветного изображения используют способ оптического сложения цветов. Наиболее эффективен этот способ при использовании чистых, радужных цветов. Как следует из выше изложенного, современный голографический процесс не обеспечивает получения чистых цветов в восстановленном изображении. Наиболее соответствуют данному требованию слои бихромированной желатины. Однако изготовление такого материала затруднено отсутствием эффективных сенсibilизаторов зелёного и красного света, а применение – низкой светочувствительностью и сложной химико-фотографической обработкой.

При освещении объекта тремя лазерами суммарный спектр отражённого света отличается от спектра, отражённого при освещении дневным светом, отсутствующие цвета не создают свои структуры в голограмме и не содержатся в спектре восстановленного изображения объекта. Это неустранимый недостаток воспроизведения цвета многоцветными голограммами.

Трёхцветная голограмма содержит информацию об энергии и интенсивности потоков фотонов, отражённых участками поверхности объекта, освещёнными применёнными лазерами, с описанными выше искажениями.

Оптимальная триада лазеров должна иметь длины волн, соответствующие максимумам квантового выхода пигментов колбочек.

Трудность в подборе оптимальной триады лазеров заключается в отсутствии промышленного изготовления необходимых лазеров. Проблема может быть решена использованием лазеров с перестраиваемой частотой. Подбор триады лазеров из числа изготавливаемых также возможен, но не оптимален с точки зрения согласования со свойствами зрительной системы.

Процесс записи цветных голограмм по методу Денисюка обеспечивает следующие возможности воспроизведения цвета:

1. Воспроизведение однородных цветов поверхностей объекта, либо получения другого однородного цвета за счёт сдвига максимума ДЭ голограммы.

2. При неоднородном цвете деталей объекта получение цвета, отличающегося от цвета объекта.

3. Использование цветовых иллюзий за счёт цвета фона.

4. Подбором положения максимума ДЭ и ширины кривой «ДЭ – длина волны фотона», получение лож-

ного цвета объекта, благоприятного для наблюдения голограммы.

Заключение

1. Способ воспроизведения цвета, которым мы в настоящее время располагаем, принципиально не может обеспечить полное воспроизведение цвета объекта, освещённого дневным светом.

2. Только идеальная моноцветная голограмма воспроизводит цвет поверхности объекта, освещённого лазером. Реальная голограмма восстанавливает ложный спектр цвета поверхности изображения.

3. Голографический процесс с использованием триады лазеров принципиально не обеспечивает точного воспроизведения цвета поверхности объекта вследствие различия спектров отражения дневного света и лазерного освещения. Это непреодолимый недостаток воспроизведения цвета объекта исследуемого голографического процесса.

4. Голографический процесс записи цветных голограмм по методу Денисюка обладает ограниченными возможностями воспроизведения цвета. Усовершенствование этого процесса позволит улучшить воспроизведение цвета, но не решит проблему.

5. Увеличение ДЭ фотоматериала для всех длин волн триады лазеров и уменьшение ширины спектров цветного шума можно достичь путём применения новых материалов и усовершенствования характеристик используемых материалов.

6. Для получения голограмм с полным воспроизведением цвета необходима разработка принципиально нового голографического процесса. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мирошников М.М.* Теоретические основы оптико-электронных приборов. Изд. «Лань». СПб. М. Краснодар. 2010, с. 698.
2. *Родионов Б.Н.* Динамическая фотограмметрия и иконометрия. М. Изд. «Недра». 1983.
3. *Пэдхем Ч., Сондерс Дж.* Восприятие света и цвета. Изд. «Мир». М. 1978. с. 256.
4. *Филиппов М.П., Филиппов А.М., Филиппова А.А.* Квантовые спектры излучений Солнца. ЧП «Эпроник». sciteclibrary.ru/texts/ru/st2113.htm
5. *Гудмен Д.Н.* Статистическая оптика. М. Изд. «Мир». 1988, с. 527.



ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ДИСКОМФОРТ И УСТАЛОСТЬ при просмотре стереофильмов



А.С. Мелкумов, info@stereokino.ru, заведующий сектором цифрового стереокино, филиал «Научно-исследовательский кинофотоинститут» АО ТПО «Киностудия им. М. Горького», член российского отделения SMPTE, РФ

Аннотация

Сегодня мы наблюдаем спад интереса к стереоскопическому кинематографу. Наступило некоторое разочарование и усталость от стереокино. Всё свелось к тому, что в таком состоянии такой вид кинематографа доставляет головную боль и физическую усталость.

При всём совершенстве технологии цифрового стереопоказа, по сравнению с плёночным, мы впервые столкнулись с проблемой физической утомляемости при просмотре стереофильмов. Обычно зритель любил ходить на стереофильмы и получал от них удовольствие. Если это наблюдалось в прошлом, при более несовершенном показе, значит, основной причиной является качество производимых сегодня стереофильмов.

Ключевые слова: рампа, плоскость нулевых параллаксов, параллакс бесконечности, глубина комфортно наблюдаемого пространства, эффект стереоскопического удара, отжимающее действие экрана, трёхмерный зрительный образ.

■ В начале XXI века на волне развития и внедрения цифровых технологий мы были свидетелями возрождения стереокино. Были созданы все условия для

FACTORS AFFECTING THE DISCOMFORT AND THE FATIGUE WHEN VIEWING 3D MOVIES

A. Melkumov, info@stereokino.ru, Russia

Abstract

Today we are witnessing the decline of interest in stereoscopic 3D cinema. There has been some disappointment and fatigue from stereoscopic. All agree on the fact that this kind of cinema gives people headaches and physical fatigue. With all the advanced technology of 3D digital showing, compared to the film, we first encountered the problem of physical fatigue from viewing films. Usually the audience loved to watch films and received from them the pleasure. If it had been in the past, when more imperfect screening, so the main reason is the quality of today's 3D movies.

Keywords: a ramp, a plane of zero parallaxes, the parallax of infinity, depth comfortable the observed space, the stereoscopic effect of the stroke, the dewatering action of the screen, three-dimensional visual image.

качественного театрального стереопоказа. Цифровые технологии позволили решить извечную проблему синхронизации изображений левого и правого ракур-

са, удешевить тиражирование копий стереофильмов. Стёрлась грань между обычными и стереокинотеатрами. Практически в каждом мультиплексе, по меньшей мере, в одном-двух залах идёт показ стереофильмов. Стереokino стало доступным для домашнего просмотра. Все ведущие производители телевизоров включили в свои модели опцию просмотра в стереоформате. Разработана была технология телевидения стереоизображения. Никогда ещё кинематограф не имел таких благоприятных технических условий для своего развития, как искусство в формате трёхмерного изображения.

Прошло десятилетие, и как итог, сегодня мы наблюдаем спад интереса к стереоскопическому кинематографу, а телевидение так и не вышло на бытовое обслуживание населения. Те же самые ведущие производители электроники отказались от опции стереопоказа на телеэкранах и выпуска бытовых стереокинокамер. Они «выключили» стереokino из домашнего просмотра. Наблюдается некоторое разочарование и усталость от стереokino.

Приводятся несколько причин данному явлению. На бытовом уровне всему виной считают очки. На профессиональном уровне – основополагающей причиной считают низкое качество обслуживания кинопоказа (не технологию, а именно обслуживание). На искусствоведческом – стереokino, якобы, так и не вышло за рамки аттракциона. Но все сходятся на том, что такой вид кинематографа доставляет головную боль и физическую усталость. При всём совершенстве технологии цифрового стереопоказа, по сравнению с плёночным, мы впервые столкнулись с проблемой физической утомляемости при просмотре стереофильмов. Обычно зритель любил ходить на стереофильмы и получал от них удовольствие. Если это наблюдалось в прошлом, при более совершенном показе, значит, основной причиной является качество производимых сегодня стереофильмов.

Очки, которые выдаются зрителям, всего лишь инструмент для раздельного наблюдения стереопары и не являются первопричиной дискомфорта при просмотре стереофильмов. Через очки мы наблюдаем два плоских изображения, и от того, как правильно была записана стереопара при съёмке фильма, зависит комфортность восприятия трёхмерного зрительного образа, рождённого в мозгу зрителя. Если стереопара снята неграмотно, то мозг прикладывает определённые усилия для исправления ошибок съёмки. Это как читать кем-то неграмотно написанный текст. Попробуйте прочитать хотя бы одну главу какого-либо романа с грамматическими ошибками, и вы убедитесь, как устали от чтения. Не будете же винить в том свои очки? То же самое происходит и при просмотре современной кинопродукции в стереоформате.

Здесь не рассматриваются технические недостатки кинопоказа такие, как неправильно выбранная архитектура зала, минимальная дистанция до первого ряда, низкая яркость изображения на экране и другие факторы, кото-

рые, безусловно, влияют на комфорт восприятия фильма. Главный акцент делается на качество самого контента, демонстрируемого в стереозалах или на домашних дисплеях.

Каковы причины болезненной восприимчивости стереоизображения, и почему они делятся на две группы факторов, одни из которых влияют на дискомфорт восприятия, а другие вызывают усталость от просмотра?

В отличие от традиционного (плоскостного) кинематографа, стереokino по форме воздействия на человека, подобно нейтронной бомбе, в смысле отсутствия прямой аудиовизуальной информации о причинах болезненного воздействия на организм. Так, например, при просмотре обычного фильма мы имеем прямое визуальное объяснение нерезкому изображению на экране или его цветовому искажению. То же самое относится и к звуковым искажениям. Надев очки, зритель даже не подозревает, что «вытворяют» режиссёр и оператор с его глазами, как это в крайне агрессивной форме проявилось в фильме Люка Годара «Прощай речь». Или другой пример: вы уверены, что купили билет с наценкой, потому что фильм 3D, а вам будут показывать 10%, если не больше, изображения одного ракурса на оба глаза без всякого предупреждения. Сколько было сказано о перепутанных ракурсах для левого и правого глаза, но это самое безобидное, что приходится зрителю испытывать при просмотре неграмотно снятого стереофильма.

Есть ошибки, которые вызывают сиюминутный дискомфорт, болезненные ощущения, возникающие при наблюдении конкретного изображения в череде сменяющихся друг друга планов, а есть погрешности, вроде бы не вызывающие болезненных ощущений, но заставляющие мозг постоянно корректировать такие погрешности. Накапливаясь в своей массе, такие ошибки приводят к усталости мозговой деятельности зрителя.

К факторам дискомфорта можно отнести такие явления, как:

1. отсутствие идентичности по яркости, цвету, резкости фотографических изображений левого и правого ракурсов стереопары;
2. наличие разной масштабности, изометричности и поворота изображений одноименных объектов;
3. превышение допустимого параллакса бесконечности или отрицательного параллакса переднеплановых объектов;
4. склейка двух планов, когда в следующем плане объект резко выдвинут в зальное пространство (эффект стереоудара);
5. разницы светлот в одноименном участке объекта (то, что называется эффект стереоблеска);
6. неправильное назначение изображений стереопары ракурсам наблюдения (перепутанные ракурсы), вызывающее обратный стереоэффект.

Первые три явления, перечисленные выше, могут относиться к обоим группам факторов, то есть не обязательно вызовут сиюминутный дискомфорт восприятия, но будут

причиной усталости по итогам просмотра. Всё зависит от величины погрешности, длительности её присутствия на экране и количества таких случаев на протяжении всего фильма. Так, например, одним из распространённых факторов является превышение допустимого диапазона параллакс комфортного наблюдаемого пространства. Как это понимать? В стереографии существует такое понятие, как допустимые величины параллакс максимально удалённой и максимально близкой точки в трёхмерных композициях. Суммарно величина таких параллакс не должна быть более 2% – до 1% для положительных и 1% для отрицательных параллакс. Это является залогом того, что зритель будет комфортно переносить разрыв между аккомодацией и конвергенцией зрительных осей. Если оператор неверно рассчитал параметры съёмки, и трёхмерная композиция кадра значительно вышла из допустимого диапазона параллакс, зритель ощутит секундный дискомфорт при восприятии такой композиции, который проявится в виде двоения изображений на фонах или близлежащих объектах. Причём степень дискомфорта будет зависеть от контраста объекта, различимости деталей на фонах. Таким образом, значительное превышение величин крайних значений параллакс можно считать фактором дискомфорта. Но если оператор регулярно допускает такие погрешности в незначительных величинах, не вызывающих у зрителя дискомфорта, но на протяжении всей картины, то в итоге это становится причиной усталости от просмотра. В этом случае можно говорить, что данный фактор переместился в группу факторов, вызывающих усталость.

Существуют факторы, которые по определению могут относиться только к группе факторов усталости, поскольку бывает задействована природа не физического ощущения, а психологического представления. При построении трёхмерной композиции оператор идентифицирует съёмочное пространство со зрительным залом. Таким идентификатором является положение плоскости рамп, часто называемое «плоскостью нулевых параллакс». В стереокино существует особая условность восприятия границ экрана, которые материализуются в виртуальное окно. Данное явление существует теперь даже в современных залах IMAX, где принудительно изменили соотношение сторон с 4:3 к 2,39:1. Согласно основам композиционного построения в стереокино, переднеплановые объекты, обрезаемые границами кадра, не должны иметь отрицательный параллакс. Рампа не может находиться за объектами, которые обрезаются границами экрана. В противном случае наступает эффект «отжимающего действия экрана», когда в психологическом восприятии зрителя вся трёхмерная композиция отжимается вглубь кадра на позиции так, чтобы обрезаемый объект вернулся в портал экрана. Постоянное несовпадение математического обозначения положения объекта, согласно отрицательному знаку его параллакс, с психологическим представлением зрителя о пространственном заэкранном положении объекта и

является фактором усталости. Как часто мы видим обрезанные головы или туловища персонажей с отрицательным параллакс в современных фильмах? Вроде бы зритель привык к таким планам, и они не вызывают дискомфорта, но именно такие примеры приводят к усталости от просмотра стереофильма.

Можно ли использовать фактор дискомфорта в драматургических целях? Бывают случаи, когда дискомфорт возникает при монтажной склейке двух планов. Так, например, если за общим или средним планом следует план с резко выдвинутым в предэкранное пространство переднеплановым объектом, возникает эффект стереоскопического удара. Если такая склейка обоснована драматургическим решением, то её можно отнести к монтажному приёму, дающему сильное физическое ощущение, характеризующее стереоэффект. Но если режиссёр монтирует сцену, не придавая значения особенностям стереоскопического восприятия и драматургически не мотивируя такие склейки, то в данном случае мы говорим о риске возникновения дискомфорта.

Так же болезненно зритель воспринимает драматургически немотивированные плоскостные изображения в стереофильме. Если в трёхмерную композицию интегрирован фрагмент плоскостного изображения, или зрителю предварительно сообщают, что данный эпизод демонстрируется с плоским изображением, и в этом случае надо снять очки, как это было в фильме «Дети шпионов 3», то зритель спокойно принимает такие правила игры. Но, если такой установки нет, и зритель в очках наблюдает отсутствие диспаратности в изображениях стереопары, когда стереограмма не имеет дифференциацию в параллаксах, характеризующую разноудалённости предметов, то наступает усталость от непрерывного поиска – где же тут объём? А таких примеров в современной кинопродукции немало, когда производители фильмов, пытаясь спасти бракованные кадры, заменяют стереопару на элементарное удвоение одноракурсного изображения. Такие не единичные случаи мы наблюдаем, например, в фильмах «Аватар», в анимационных картинах «Каролина в стране кошмаров» и «Снежная королева».

Одной из причин усталости при просмотре стереофильмов является фактор занижения стереоскопической насыщенности изображения в большинстве современных фильмов. Это происходит по причине того, что режиссёры не готовы пересматривать композиционные построения кадра, сложившиеся в традиционном кинематографе последнего десятилетия. Приверженность к резкому укрупнению переднеплановых персонажей, проецируемых на значительно удалённых фонах, приводит к необходимости вести съёмку со значительным занижением съёмочной базы, чтобы тем самым расширить диапазон комфортно наблюдаемого пространства. Эмпирически было определено, что при съёмке живой природы отклонение от среднестатистической базы в 25 мм занижает стереоскопичность изображения, что мы наблюдаем в ряде сцен фильма «Сталинград».



Кадр из фильма «Прощай речь», режиссёр Люк Годар



Левый и правый кадр одной стереопары из фильма «Прощай речь», режиссёр Люк Годар



Пример несоблюдения допустимого диапазона параллакса



Пример несовпадения психологического представления зрителя о пространственном положении объекта с отрицательным значением параллакса

пределах, вплоть до выделения одной какой-либо цветовой составляющей. В стереокино занижение стереоскопической выраженности изображения или его отсутствие должно иметь более мощную авторскую мотивацию. В противном случае для зрителя, надевшего очки и готового к наблюдению пространственного изображения, выключение стереопсиса, как сенсорного процесса психофизической реакции на сетчаточную горизонтальную диспаратность, станет фактором усталости.

Заключение

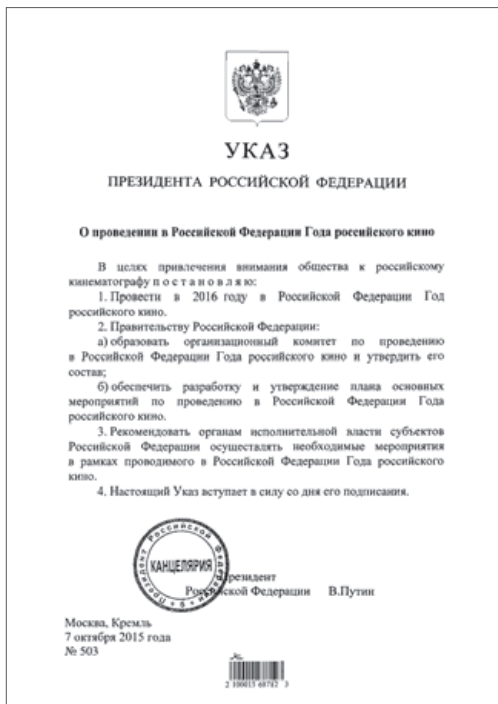
На протяжении последних лет наши коллеги из МГУ им. М.В. Ломоносова занимаются вопросами мониторинга вышедших в прокат стереофильмов. Ими разработаны программы обнаружения погрешностей и составления карт статистики таких погрешностей. Их деятельность можно сравнить с работой патологоанато-

мов, которые пытаются выявить причину смерти. Работа нужная, но недостаточная для реабилитации стереоскопического кинематографа. Выражаясь медицинским термином, необходимо проводить раннюю диагностику болезни современного стереокино, перечислять кинематографистов грамотному ведению съёмок и монтажа стереофильмов. Необходимо присутствие экспертов стереокино в комиссиях по выдаче разрешительных удостоверений для театрального проката, чтобы уже на данном этапе оградить зрителей от некачественной продукции.

Зритель уже проголосовал ногами в обратную сторону от кассы стереокино. Сегодня его надо убеждать, что на данном этапе развития стереокино основным является человеческий фактор непродуктивности и неграмотного использования технических достижений. Не надо ждать новой волны технического развития стереокино. История показала, что оно будет всегда возрождаться и возвращаться к нам в своих классических формах – *двухкурсное раздельное наблюдение плоских изображений стереопары, при котором в мозгу рождается трёхмерный зрительный образ*. Не надо ждать прорывов в голографии. Если мы говорим о том, что современные неудачи заключаются в непонимании особенностей и отличий стереокино от традиционного 3D, то голографическое изображение будет иметь более глубокие различия, делающие его почти несовместимым с кинематографом как художественной формой восприятия произведения искусства. ■



120 ЛЕТ КИНЕМАТОГРАФА В РОССИИ: 1896–2016



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

Аннотация

Статья посвящена Году кино в России, первым шагам и развитию отечественного кинематографа в России, совершенствованию техники съёмки и внедрению новейших разработок в кинопроизводство на протяжении 120 лет. Обо всём этом наш журнал постарается рассказать в течение 2016 года - Года российского кино.

Ключевые слова: кинопроизводство, техника съёмки, кинопоказ.

120 YEARS OF CINEMA IN RUSSIA: 1896–2016

N. Mayorov, henrymay@mail.ru

Abstract

The article is devoted to the Year of Russia in the movie, and the first steps of the development of domestic cinema Russia, improving shooting technique and introduce the latest developments in the film industry for 120 years. About all this we will try to tell the journal during 2016 - the Year of Russian cinema.

Keywords: film industry, shooting technique, movie screening.

Продолжение. Начало в МТК № 2016-1,2 (10)



■ Днём рождения киностудии «Мосфильм» считается 30 января 1924 года, своё всемирно известное название студия обрела в 1935 году.

Основу будущего советского киногиганта киностудии «Мосфильм» положили национализированные и объединённые в 1923 году киноателье Александра Алексеевича Ханжонкова на Житной улице и Иосифа Николаевича Ермольева в Брянском переулке. Новое кинопредприятие получило в своё распоряжение съёмочные павильоны и оборудование двух крупнейших кинофирм царской России и получило название «Московская фабрика «Совкино», объединив в один хозяйственно-производственный организм Первую и Третью кинофабрики «Союзкино». В ноябре 1923 года режиссёр Борис Александрович Михин приступил к съёмкам своего нового фильма «На крыльях ввысь», которому выпала честь стать первым фильмом новой кинофабрики, а дата его выпуска на экран – 30 ян-

варя 1924 года – стала днём рождения будущего киноконцерна «Мосфильм».

Скоро стало ясно, что увеличение производства фильмов требует расширения киностудии, создания единого комплекса для всех этапов кинопроцесса, сосредоточенных в одном месте. Нужен был киногород.

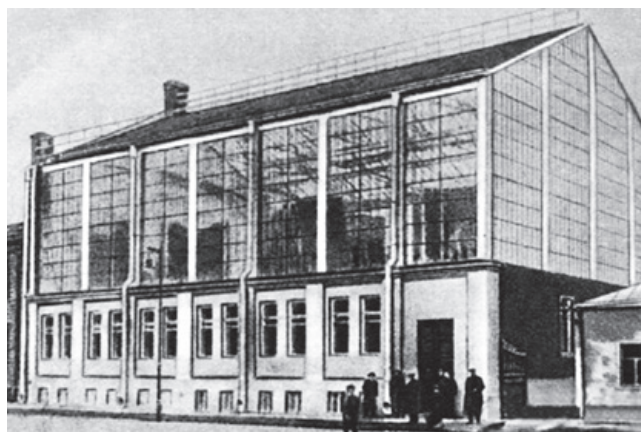
Закладка нового, современного киногорода с огромной pompой состоялась 20 ноября 1927 года на Воробьёвых горах, близ деревни и станции окружной железной дороги Потылиха.

9 февраля 1931 года состоялось торжественное открытие новой кинофабрики, которая уже во время строительства в 1930 году была переименована из «Совкино» в «Союзкино». В 1932 году киностудия получила название Московская фабрика «Росфильм». Через год она стала Московской фабрикой «Союзфильм». В 1934 – переименована в Московский кинокомбинат. И, наконец, в 1935 году обрела своё всемирно известное название «Мосфильм». Эмблема киностудии «Мосфильм» – скульптура В.И. Мухиной «Рабочий и колхозница» на фоне Спасской башни, впервые появилась на экране в кинокомедии «Весна», выпущенной на экран 2 июля 1947 года.

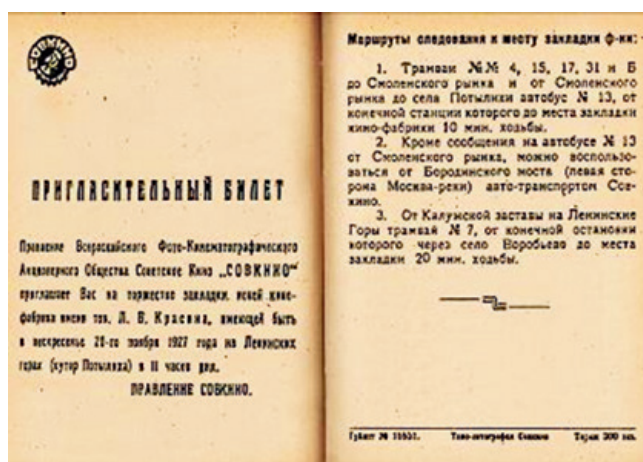
С первых дней и на протяжении всех лет работы киностудия «Мосфильм» постоянно укрепляла свою техническую базу не только за счёт приобретения новинок кинотехники, но и активно участвуя в их разработке и создании. По сути, «Мосфильм» всегда был не только фильмопроизводящей компанией, но и одним из научно-исследовательских центров как в технической и творческой областях кинопроизводства, так и в организационной. Технические разработки специалистов студии, как самостоятельные, так и сделанные в содружестве с учёными НИКФИ и других научно-исследовательских институтов, в большинстве случаев становились крупными изобретениями, и после проведения экспериментальных работ находили широкое применение на киностудиях не только СССР, но и многих стран мира.

Вся 90-летняя история «Мосфильма» – история пионера отечественного кино, экспериментатора и первопроходца. Об этом свидетельствуют не только фильмы студии, но сами стены. Спроектированная в эпоху немого кино, строящаяся в эпоху перехода к звуку, киностудия смогла в кратчайшие сроки приступить к выпуску звуковых картин на собственной производственной базе. И уже в сентябре 1931 года, черед два месяца после громкой премьеры фильма «Путёвка в жизнь», выпустила свой первый звуковой полнометражный игровой фильм «Рядом с нами» режиссёра Николая Осиповича Бравко.

До сих пор не сходит с экранов первая советская музыкальная кинокомедия «Весёлые ребята» режиссёра Г. Александрова и оператора В. Нильсена с блистательными актёрами Любовью Орловой и Леонидом Утёсовым в главных ролях. Выпущенная на экран 25 декабря 1934 года, перевыпущенная повторно в 70-е годы прошлого века, отреставрированная и колоризованная в веке



Кинопате Александр Александрович Ханжонков на Житной улице в Москве



Пригласительный билет на закладку «Мосфильма» (1927)



Общий вид первого блока киностудии «Мосфильм» в конце 30-х годов прошлого века



Съёмка финальной сцены фильма «Весёлые ребята» в декорации на натурной площадке «Мосфильма» (1933)

двадцать первом – она до сих пор смешит и радует зрителей эпохи гаджетов.

Сегодня мало кто вспомнит, что «Весёлые ребята» были не только прорывом в области киносмеха, но и в области кинотехники. На съёмках фильма применялись самые передовые по тем временам технологии: рир-экран, транспорант, макеты. Трудности специфики производства звукового фильма и получения качественного звука при синхронной съёмке создатели фильма изобретательно преодолели, впервые применив съёмку музыкальных номеров под готовую фонограмму, записанную в студийных условиях.

В 1935 году 25 августа новый прорыв, и уже мирового масштаба. На экран вышел первый в мировой кинематографии полнометражный игровой фильм «Новый Гулливер», созданный средствами объёмной мультипликации, в котором мульти-

пликационные персонажи сосуществуют с живыми актёрами. Около 1500 кукол.

Творческие и технические работники «Мосфильма» первыми приступили к освоению методов цветного кино. В 1936 году под руководством Павла Михайловича Мершина был разработан и практически осуществлён процесс трёхцветной съёмки и последующей печати цветных копий на хромированном желатине. Через



Кадры из фильма «Веселые ребята» (1934)



Рекламный плакат фильма «Новый Гулливер» (1935)



Кадры из фильма «Новый Гулливер» (1935)



Кадры из фильма «Лиса и Волк» (1936)



четыре года после создания У.Диснеем (W.Disney) первого полноцветного анимационного рисованного фильма «Flowers And Trees» (Цветы и деревья), снятого по трёхцветной субтрактивной системе Technicolor (Процесс №4), «Мосфильм» 4 января 1937 года выпускает первый в мире цветной кукольный анимационный фильм «Лиса и Волк», созданный по трёхцветному методу П.М. Мершина.

Мультипликационным объединением «Мосфильма» в 30-е годы было снято только пять полноцветных анимационных фильмов. Но каждый из них – маленький шедевр волшебников-мастеров киностудии. Особое место среди них занимает цветная кукольная анимация, поставленная великим отечественным киносказочником А.Л. Птушко в 1937 году «Сказка о рыбаке и рыбке». Об этих фильмах недостаточно писать, их надо смотреть. Более семидесяти лет эти шедевры были недоступны зрителям. До наших дней не дошло ни одной, даже чёрно-белой копии. К счастью, в Госфильмофонде Рос-

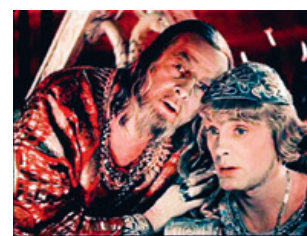
страницы, но и открывают глаза на «лапотный» русский кинематограф зарубежным зрителям, вызывая удивление и восторг.

В 1939 году по трёхцветному методу П.М. Мершина режиссёром А.И. Медведкиным и оператором Ф.Ф. Проворовым был снят и выпущен на экран полноцветный документальный фильм о физкультурном параде в Москве «Цветущая юность».

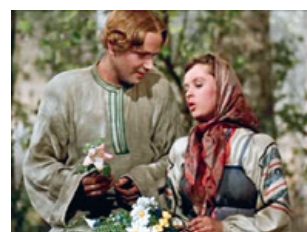
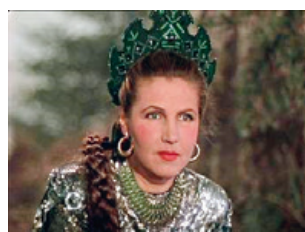
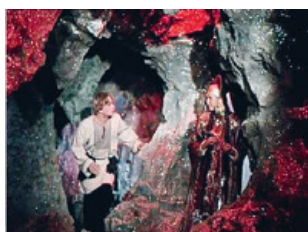
Даже в годы войны мастера «Мосфильма» продолжали освоение цвета. Режиссёр И.А. Савченко в содружестве с операторами Ф.Ф. Проворовым и Г.А. Рейсгофом по трёхцветному методу П.М. Мершина сняли первый советский цветной полнометражный игровой фильм «Иван Никулин – русский матрос». 1 апреля 1945 года фильм был выпущен на экран, и с огромным успехом долгие годы не сходил с экранов советских кинотеатров. В 1996 году Госфильмофонд совместно с НИКФИ восстановил цветную копию картины и впервые показал 29 января 1997 года на кинофестивале архивного кино «Бе-



Цветоделённые позитивы и цветной кадр из фильма «Иван Никулин – русский матрос» (1944)



Кадры из цветного эпизода фильма «Иван Грозный», 2 серия (1945)



Кадры из фильма «Каменный цветок» (1946)



Кадры из фильма «Старинный водевиль» (1947)

сии сохранились цветоделённые исходные негативы, фонограммы и монтажный лист, что позволило автору этих строк цифровыми методами восстановить оригинальный цвет всех этих фильмов. И вот уже в XXI веке восстановленные творения мастеров мосфильмовской цветной анимации 30-х годов прошлого века вновь покоряют сердца современных зрителей не только нашей

страны, но и открывают глаза на «лапотный» русский кинематограф зарубежным зрителям, вызывая удивление и восторг.

Первым (среди советских киностудий) «Мосфильм» приступил и к освоению цветного негативно-позитивного процесса на трофейной многослойной цветной плёнке Agfacolor В. С.М. Эйзенштейн ещё в начале 1945 года первым использовал немецкий плёночный

трофей для съёмки цветной сцены второй серии фильма «Иван Грозный».

А сразу после окончания Великой Отечественной войны на «Мосфильме» были запущены в производство два цветных фильма по новой технологии. Режиссёр И.А. Савченко и оператор Е.Н. Андриканис начали снимать цветную комедию «Старинный водевиль».

В это же время режиссёр А.Л. Птушко и оператор Ф.Ф. Проворов приступили к съёмкам уральского сказа «Каменный цветок». 28 апреля 1946 года началось победное шествие фильма по экранам нашей страны и мира. Сложнейшие комбинированные съёмки, большие реалистичные комплексные декорации под натуру в павильоне, сказочный сюжет, прекрасная актёрская игра и, конечно, мастерство режиссёра и оператора в 1946 году покорили не только простых зрителей, но и жюри Каннского международного кинофестиваля. Там «Каменный цветок» опередил в конкурсе американские цветные картины и был признан Лучшим цветным фильмом фестиваля.

В канун 135-летнего юбилея Победы над Наполеоном 1 июля 1947 года вышел на экраны страны «Старинный водевиль», ставший вторым цветным игровым полнометражным фильмом «Мосфильма» по негативно-позитивной технологии цветного кино.

В середине 40-х годов на «Мосфильме» началось освоение стереоскопического кинематографа. В 1947 году на экране единственного на то время стереоскопического кинотеатра «Стереokino» в Москве начал демонстрироваться объёмный мосфильмовский первенец – полнометражная игровая картина «Машина 22-12», снятая по системе «Сtereo-35/19» режиссёром В.В. Немоляевым и оператором С.Я. Рубашкиным.

Первый советский фильм-балет «Ромео и Джульетта», снятый на плёнку мосфильмовскими мастерами и выпущенный на экран 25 марта 1955 года, дал возможность уже не одному поколению любителей балета наслаждаться искусством великой Галины Сергеевны Улановой в роли Джульетты в балете С.С. Прокофьева.

16 ноября 1956 года режиссёр А.Л. Птушко и оператор Ф.Ф. Проворов раздвинули рамки экрана, представив зрителям московского кинотеатра «Художественный» первый советский цветной широкоэкранный игровой фильм со стереофоническим звуком «Илья Муромец».

Но начало освоения широкого экрана в игровом кино на «Мосфильме» положил Э.А. Рязанов, который совместно с С.Н. Гуровым поставил в 1955 году небольшой фильм-ревю с игровым сюжетом «Счастливая юность».

Знарок музыкального искусства режиссёр «Мосфильма» Вера Павловна Строева не раз радовала кинозрителей музыкальными фильмами с участием прославленных советских мастеров оперы, балета и эстрады. В 1954 году она поставила цветной фильм-оперу «Борис Годунов» с участием выдающихся солистов Большого театра Александра Пирогова и Ивана Козловского. Но-



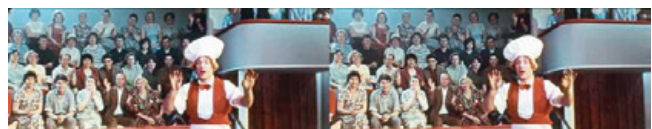
Стереопара из фильма «Машина 22-12» (1947)



Рабочий момент съёмки стереофильма «Машина 22-12» (1947)



Кадры из фильма «Хованщина» (1959)



Стереопара из фильма «Вечер в Москве» (1963)

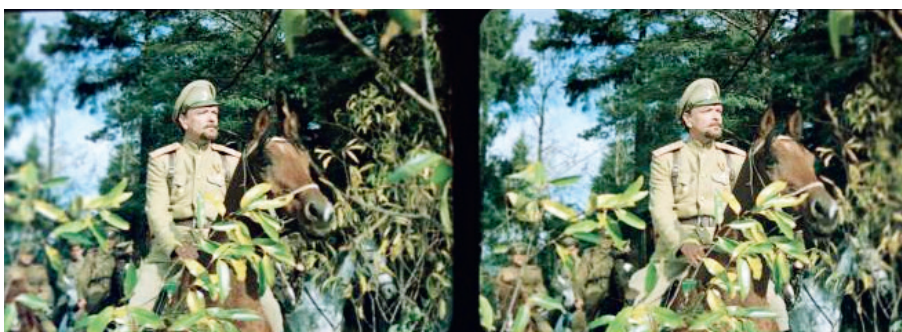
вая широкоэкранный техника, четырёхканальный стереофонический звук дали В.П. Строевой возможность максимально раскрыть на экране всю силу трагедии в

экранизации оперы «Хованщина». Выпущенный на экран 14 ноября 1959 года, этот фильм-опера, как и «Борис Годунов», до сих пор востребованы любителями оперного искусства всего мира.

23 ноября 1961 года студия выпускает в прокат первый советский цветной широкоформатный игровой фильм с шестиканальным стереофоническим звуком «Повесть пламенных лет», поставленный Ю.Э. Солнцевой.

В 60-е годы «Мосфильм» в сотрудничестве с НИКФИ продолжил освоение новых систем стереоскопического кинематографа. Больше года в кинотеатре «Рекорд» демонстрировался первый советский цветной широкоэкранный стереоскопический фильм со стереофоническим звуком «Вечер в Москве», выпущенный на экран 2 ноября 1963 года. Необычный формат кадра, объёмное изображение и солнечный клоун Олег Попов в главной роли обеспечили этому обыкновенному по форме и содержанию фильму-ревю такой долгий зрительский успех. Но успех у зрителей не был воспринят как победа новой системы его создателей. Система оказалась несовершенной и требовала доработки, причём очень значительной. В то же время, развитие широкоформатного кинематографа привело разработчиков к мысли о создании новой системы стереокино на базе 70-мм аппаратуры. Так появилась система «Сtereo-70», и «Мосфильм» первым начал её внедрение в кинопроизводство. Первый цветной стереоскопический игровой фильм «Нет и да», снятый по этой системе, начал демонстрироваться 30 апреля 1968 года по поляризационному способу в малом зале нового московского кинотеатра «Октябрь» и выдержал зрительский интерес только на 450 сеансах. «Первый блин» оказался комом и по сюжету, и по режиссуре, да и по актёрской игре. Зато второй мосфильмовский стереоскопический фильм «Таинственный монах», сменивший 1 октября 1968 года в кинотеатре «Октябрь» первую картину, продержался в прокате стереокинотеатров СССР целых десять лет и собрал более 37 миллионов зрителей.

Широкоформатная система кинематографа дала жизнь не только «Сtereo-70», но и новому направлению – поликадровому вариоскопическому кино.



Стереопары из фильма «Таинственный монах» (1968)



Кадр из вариополикадрового фильма

19 апреля 1967 года в московском кинотеатре «Россия» состоялась премьера первого советского цветного широкоформатного вариоскопического игрового фильма «Айболит-66», поставленного на «Мосфильме» режиссёром Р.А. Быковым.

Через три года на суд зрителей 22 апреля 1970 года «Мосфильм» представил первый советский широкоформатный поликадровый, вариоскопический фильм «Наш марш» режиссёров А. Шейна и А. Светлова. Этот фильм дал старт новой системе, разработанной в 1969 году на киностудии «Мосфильм» совместно с НИКФИ, и получившей название «Совполикадр». В последующие годы на производственной базе «Мосфильма», к знаменательным датам в истории СССР и для демонстрации на международных выставках, было снято более десятка фильмов по этой системе. ■

Продолжение следует