

2017-3 (11) СОДЕРЖАНИЕ



стр. 3

Доклады

Ю. Овечкис, ovechkis@yandex.ru
Голография без голографии. Мифы и реальность 3



стр. 17

Технологии

О. Березин, Oleg.Berezin@nevafilm.ru
Российская киноиндустрия 4.0 - цифровые кинофабрики, или прогнозирование за гранью понимания 6

С. Бирючинский, sbiruchinsky@optica4d.com
Панкратические объективы для профессиональной кинематографии 17



стр. 29

А. Кулешов, akul1974@mail.ru, В. Фатеев
Маховичный гиродемпфер телекамеры для съёмки с рук 23

Д. Чекалин, chekalinnikfi@mail.ru
Особенности восприятия, способы демонстрации и современные технологии воспроизведения объёмных изображений 29

Стандартизация

В. Сычѳв, ssytchov@mail.ru, Д. Чекалин, chekalinnikfi@mail.ru
24 Пленарное заседание технического комитета «Кинематография» Международной организации по стандартизации (ИСО/ТК 36) 36



стр. 36

Мастер-класс, семинары, новости SMPTE, отзывы

Ю. Индли, 7654081@mail.ru
Спектральная и интегральная оценки шума 38

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

1. Статья представляется на электронном носителе, либо по почте Kevin@paradiz.ru, объѳмом 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»
Выпуск издания осуществлен при финансовой поддержке: 1. Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям 2. ЧОУ ДПО «Высшая школа киноинженеров».

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

Члены редакции:
Овечкис Ю.Н., д.т.н., Московский Политехнический Университет, РФ
Вишняков Г.Н., проф., д.т.н., ФГУП «ВНИИОФИ», г. Москва, РФ
Тихомирова Г.В., проф., д.т.н., СПбГИК, г. Санкт-Петербург, РФ
Сакварелидзе М.А., д.х.н., ВГИК, г. Москва, РФ
Винокур А.И., д.т.н., Московский Политехнический Университет, РФ
Перегудов А.Ф., к.т.н., ВГТРК, г. Санкт-Петербург, РФ
Березин О.С., «Невафильм», г. Санкт-Петербург, РФ
Барский И.Д., к.т.н., ВГИК, г. Москва, РФ
Одинокое 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»
Объѳм 5 п.л. Заказ № 143285.
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 несѳт 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

2017-3 (11) CONTENT



p. 3



p. 17



p. 29



p. 36

Reports

Yu. Ovechkis, *ovechkis@yandex.ru*
Holography without holography. Myths and reality 3

Technology

O. Berezin, *Oleg.Berezin@nevafilm.ru*
Russian Film Industry 4.0 - Digital Film Factories or forecasting beyond imagination 6

S. Biryuchinskiy, *sbiruchinsky@optica4d.com*
Zoom lenses for professional cinema 17

A. Kuleshov, *akul1974@mail.ru*, V. Fateev
Flywheel gyroscopic damper for handheld camera 23

D. Checalin, *chekalinnikfi@mail.ru*
Features of perception, methods of demonstration and modern technologies of three-dimensional images reproduction 29

Standardization

V. Sychev, *sstycthov@mail.ru*, D. Checalin, *chekalinnikfi@mail.ru*
24 plenary meeting of the Technical Committee "Cinematography" International organization for standardization (ISO / TK36) 36

Master-class

Yu. Indlin, *7654081@mail.ru*
Spectral and integral assessment of noise 38

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

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

Electronic version www.elibrary.ru

Subscription index Rospechat: № 81923

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

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

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

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

Chairman Ph.D. Yu.Indlin

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

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

Printed in Russia.



ГОЛОГРАФИЯ БЕЗ ГОЛОГРАФИИ. Мифы и реальность

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



Ю.Н. Овечкис, д.т.н., ovechkis@yandex.ru, Московский политехнический университет, РФ

Аннотация

В докладе приведены сведения о системах и устройствах, часто представляемых как голографические, но демонстрирующих плоские изображения, воспринимаемые объёмными благодаря особенностям их показа – таким как скрытые и прозрачные экраны, динамика показа, адаптация к положению наблюдателя. Изложены также сведения о идейно близких к голографическим – пленоптических устройствах, регистрирующих световые пучки.

Ключевые слова: объёмное изображение, 3D, голография, экран, проекция, пленоптика.

■ Системы воспроизведения объёмных изображений (или, как их называют, 3D) без применения очков и других специальных приспособлений всегда привлекали внимание и вызвали большой интерес, как у разработчиков, так и потребителей подобной техники вследствие полной реалистичности не только самого изображения, но и способа его предъявления. Подобные системы частично уже используются в рекламе, на выставках, телевидении, а также в различных технических приложениях, системах обучения, тренажёрах и т.д.

Однако часто имеет место подмена действительно объёмных изображений, в том числе голографических,

HOLOGRAPHY WITHOUT HOLOGRAPHY. MYTHS AND REALITY

Yu. Ovechkis, d.t.s., ovechkis@yandex.ru, Moscow Polytechnic University, Russia

Abstract

The report includes data about systems and devices that are often presented as holographic, but showing a flat image, and perceived as volume due to the peculiarities of their display as hidden and transparent screens, the dynamics of the show and the adaptation to the position of the observer. Also provides information about ideologically close to the holographic plenoptic devices registered light beams.

Keywords: *Volume image, 3D, Holography, Screen, Projection, Plenoptics.*

плоскими, но демонстрируемых таким образом, что наблюдатель может воспринимать их как объёмные, висящие в воздухе [1–5]. В рекламных буклетах, брошюрах и пр. такие устройства и изображения позиционируют как 3D, и часто используют термин «голография» и производные от него. При этом к научному направлению голографии, интерференционному способу регистрации и восстановления волн, открытому Д. Габором, Ю.Н. Денисюком и развиваемому многими выдающимися отечественными и зарубежными учёными, данные системы не имеют никакого отношения.

Иллюзия объёмности плоского изображения возникает благодаря некоторым особенностям его демонстрации – использованию прозрачного или скрытого экрана, вследствие чего объект воспринимается как бы висящим в воздухе. Часто осуществляют непрерывное горизонтальное вращение изображаемого объекта или изменение его ракурсов в соответствии со смещением взгляда наблюдателя, за которым производится слежение. Однако в каждый момент времени наблюдаемая картинка плоская.

Основные приёмы так называемых «голографических» устройств:

- динамика плоских изображений;
- скрытые экраны;
- проекция на прозрачные плёнки;
- интерактивность (слежение за положением головы наблюдателя);
- оптические эффекты.

В литературных источниках описаны различные реализации устройств – «голографические» проекционные

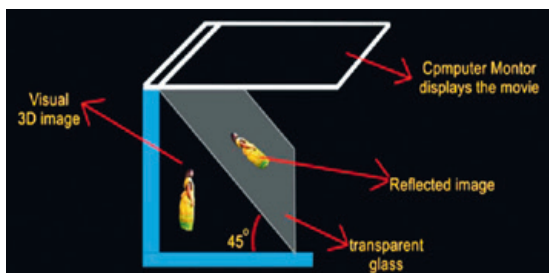


Рис. 1. Скрытые экраны

В связи с этим, чтобы избежать неопределённости, дадим определение объёмному (3D) изображению, имея в виду, что оно должно обеспечивать возможность визуально определить пространственное расположение элементов отображаемой сцены. Изображение будем

плёнки [2,3] и призмы [4,5], «голографическое» телевидение [6], «голографические» устройства со сферическими зеркалами с показом плоских изображений, сформированных по законам исключительно лучевой оптики. «Голографическим» часто называют обычный стереоскопический дисплей с очками, снабжённый системой слежения за положением головы наблюдателя и соответствующей адаптивной корректировкой ракурсов формируемого на экране изображения [7].

В работе [8] изложены основы пленоптического способа регистрации светового поля, который по своему назначению действительно близок к голографии. Слово «пленоптика» весьма родственно термину «голография» и происходит от латинского «plenus» - полный и древнегреческого «οπτικός» – зрительный («пленоптический» – полный обзор). Голография – это «полная запись»: от древнегреческих слов «ολος» – полный и «γράφω» – пишу.

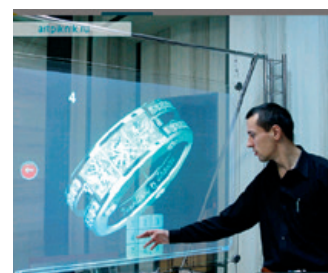
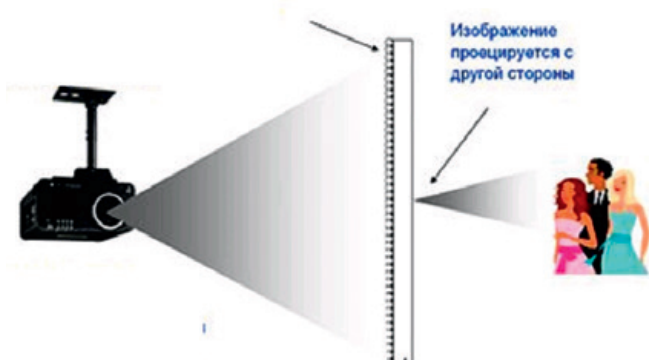


Рис. 2. Прозрачные экраны

называть объёмным, если наблюдателю одновременно предъявляются два различных ракурса, соответствующих положению его глаз. При этом одновременность понимается с физиологической точки зрения. То есть возможна и попеременная демонстрация ракурсов, но достаточно быстрая, чтобы наблюдатель воспринимал слитность показа.

Способ сочетает в себе обычную цифровую фотографию с интегральной фотографией Липпмана. Съёмка осуществляется объективом с полностью открытой диафрагмой через растр, состоящий из большого количества сферических микролинз, на высокоразрешающую ПЗС матрицу. Специально разработанное программное обеспечение позволяет по полученному изображению на ПЗС матрице с учётом известных координат расположе-

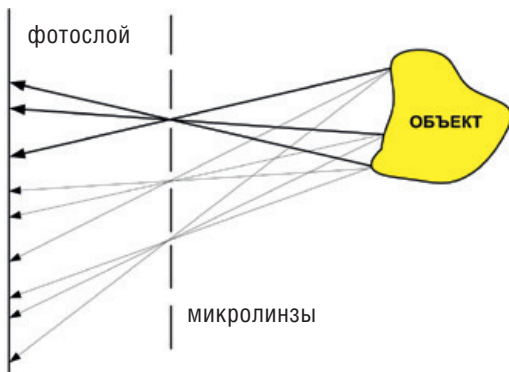


Рис. 3. Интегральная фотография Липпмана

Возможность

- устанавливать область фокусировки;
- выбирать глубину резкости;
- формировать виртуальную диафрагму произвольной формы;
- получать ракурсные кадры для создания стереоизображения с произвольной стереобазой.

Учитывая активное развитие пленоптической технологии видео и фотосъёмки, вполне реально в ближайшем будущем ожидать использование этих методов в голографии, в частности, при записи стереоголограмм. Основанием для этого являются простота вывода и последовательного перебора одноракурсных изображений

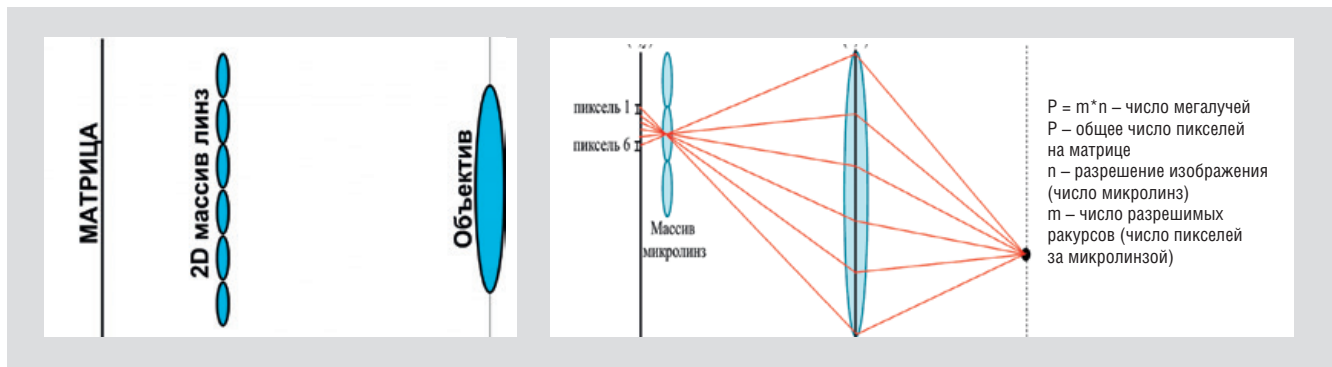


Рис. 4. Пленоптическая камера и принцип действия



Рис. 5. Изменение фокусировки

Рис. 6. Пленоптические камеры Litro

ния микролинз расчётным методом определить направление и интенсивность световых пучков, исходящих из объектива, т.е. получить виртуальную модель светового поля за объективом. С полученными таким образом изображениями можно производить всевозможные преобразования – перефокусировку, менять глубину резкости, устанавливать виртуальные диафрагмы произвольной формы. Допустимо также получать множество одноракурсных изображений в пределах апертуры съёмочного объектива с последующим их переводом в голографическое или автостереоскопическое линзорастровое много-ракурсное объёмное изображение.

Достоинства пленоптической записи

При съёмке:

- отсутствие диафрагмы,
- отсутствие фокусировки,
- увеличение скорости настройки.

Постсъёмочный период:

с компьютера на экран для последующей голографической записи, причём с изменением ракурсов в горизонтальном и вертикальном направлениях. ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Чекалин Д.Г. Особенности восприятия, способы демонстрации и современные технологии воспроизведения объёмных изображений / Мир техники кино. – 2017–2(11) С. 19–20.
2. URL: <http://waterstone.uz/golograficheskaya-video-proekciya>.
3. URL: <http://www.iventashow.ru/service/additional/holo>.
4. URL: <http://www.gefestcapital.ru/holopiramids.html>.
5. URL: <http://www.evolutionmusic.ru/3d-piramid.html>.
6. URL: <http://www.holography.by/infocenter/news/2009/150>.
7. Кувшинов С.В. Образование XXI века: от трёхмерного восприятия к трёхмерному мышлению / С.В. Кувшинов, К.В. Харин / Мир техники кино. – 2016 –2(10) С. 15–20.
8. Ватолин Д.С. Рендеринг фокуса, разрешения, формы диафрагмы, формы затвора пленоптических камер / Мир техники кино. 2016–4(10) С. 14–21.



РОССИЙСКАЯ КИНОИНДУСТРИЯ 4.0 – цифровые кинофабрики, или прогнозирование за гранью понимания



О. Березин, Oleg.Berezin@nevafilm.ru, генеральный директор «НЕВАФИЛЬМ», РФ

■ В 2016 году Клаус Шваб, президент Всемирного экономического форума в Давосе, в предисловии к своей книге «Четвёртая промышленная революция» сказал, что «мы стоим у истоков революции, которая фундаментально изменит нашу жизнь, наш труд и наше общение. По масштабу, объёму и сложности это явление, которое я считаю Четвёртой промышленной революцией, не имеет аналогов во всём предыдущем опыте человечества».

Концепции Четвёртой промышленной революции посвящено уже немало работ. 28 июля 2017 года Правительством России утверждена программа «Цифровая экономика РФ», цель которой – организовать системное развитие и внедрение цифровых технологий во всех областях жизни: в экономике, в предпринимательстве, в социальной деятельности, в госуправлении, в социальной сфере и в городском хозяйстве. Как отметил Председатель Правительства РФ Д. Медведев, перевод экономики в цифру – вопрос нашей глобальной конкурентоспособности и национальной безопасности.

В настоящей работе предпринимается попытка на основе формирующейся парадигмы Четвёртой промышленной революции сформулировать концепцию развития индустрии производства фильмов и аудиовизуального контента в целом – концепцию Киноиндустрии 4.0.

Почему, несмотря на достаточно короткий срок существования индустрии (всего 120 лет прошло с момента первого сеанса братьев Люмьер), мы можем говорить о нарождающейся новой концепции киноиндустрии как о Киноиндустрии 4.0?

Производство кинофильмов, как и всего аудиовизуального контента, неразрывно связано с технологиями. Появление фотографии, первых оптических театров и аттракционов и, в конечном итоге, кинематографа – первых киносъёмочных камер и проекционных киноаппаратов (у братьев Люмьер, например, это было одно и то же устройство), основанных на ручном приводе, простейших оптико-механических механизмах и осветительных системах – можно описать в логике Первой промышленной революции (середина XVIII века – начало XX века).

Распространение электрического привода, «разделение» съёмочных и проекционных аппаратов на две ветви конструкторского и технологического развития, усложнение технологических процессов кинопроизводства, широкое распространение конвейерного производства не только непосредственно в массовом производстве съёмочной, проекционной и иной кинотехники, но и внедрение принципов конвейерного производства в технологические процессы (производство киноплёнки, например), разделение технологических функций внутри киностудий-гигантов по цеховому принципу, появление первых специализированных предприятий – лабораторий по обработке киноплёнки и печати кинокопий, научно-исследовательских подразделений и т.д., формирование национальных сетей кинотеатров – стали основой Второй промышленной революции в киноиндустрии, характерной для так называемого индустриального цикла развития киноотрасли в период с конца 1910-х годов до начала 1970-х годов в США и середины 1990-х годов в России.

Третья промышленная революция в киноиндустрии ознаменовалась внедрением первых вычислительных электронных систем в кинопроизводство. Создание спецэффектов в изображении, системы электронного монтажа фильмов и использование телевизионных технологий в кинопроизводстве (от систем видеоконтроля до записи на магнитную ленту), и в дальнейшем всё большая цифровизация всех процессов от непосредственно производства фильма как продукта до управления процессом производства кинофильма. Именно в период Третьей промышленной революции в киноиндустрии сформировалась доминирующая сегодня парадигма мультиплексов и транснациональных сетей кинотеатров. Характерной особенностью Третьей промышленной революции в киноиндустрии стало разделение киностудий-гигантов на обособленные небольшие сервисные предприятия, специализирующиеся в той или иной области кинопроизводства – звуковые студии, студии спецэффектов, агентства по прокату и аренде кинооборудования и т.д. На практике распределение таких независимых, но объединённых общим технологическим процессом компаний осуществляется по кластерному принципу, причём, как правило, географически в традиционных национальных центрах кинематографии – Голливуд, Нью-Йорк, Лондон и, конечно, Москва. Третья промышленная революция стала основой цикла дифференциации киноотрасли, начавшегося с 1970-х годов в США и с середины 1990-х годов в России, который должен завершиться, по моим расчётам, в 2020–2025 годах.

Очевидно, что именно сегодня киноиндустрия стоит на пороге новой, Четвёртой промышленной революции. Первые предвестники этой революции уже явно видны – цифровое моделирование в технологиях производства компьютерных игр и в компьютерной анимации, цифровизация процессов съёмки, обработки, дистрибуции (распространения), хранения, проекции кинофильмов и аудиовизуальных произведений в целом – от цифровых кинокамер и систем цифрового кинопроизводства до цифровой кинопроекции и цифровых кинотеатров. Цифровые технологии становятся не просто элементами процесса производства кинофильма, а пронизывают собой весь жизненный цикл фильма.

Однако само по себе тотальное внедрение цифровых технологий в кинопроцесс не являет собой новую промышленную парадигму. Очевидно, что в концепции Четвёртой промышленной революции в киноотрасли лежат более глубинные изменения. И дело не в появлении технологий виртуальной, дополненной и смешанной реальности, как часто говорят сегодня, хотя и они найдут своё место в новой технологической парадигме. Безусловно, технологии виртуальной и дополненной реальности привносят новые технологические решения в киноиндустрию, но сами по себе не могут стать революционным изменением самой парадигмы производства и восприятия аудиовизуального контента.

Является ли переход от плёнки, от аналогового изображения и звука к цифровым изображениям и фонограмме революцией? Думаю, что нет. После ста лет плёночной эпохи кинематографа современный кинофильм, как правило, существует в цифровой форме. Но если проследить цепочку переходов от древних петроглифов – наскальных рисунков к рисунку на бумаге, затем к фотографии и первым возможностям массового тиражирования изображения и, наконец, к последовательности фотографий, фиксирующих фазы движений – к кинофильму, то даже в цифровой форме фильм по-прежнему остаётся зафиксированной последовательностью кадров изображений. Переход от плёнки к цифре – это революция в форме, но не в содержании. Очевидно, что переход к парадигме новой промышленной революции должен быть радикальным и существенным. Переходом, который принципиально меняет саму суть кинопроизводства. И мне представляется, что главная революция ещё только начинается – мы стоим на пороге перехода от зафиксированных изображений на носителе к цифровым моделям объектов фильма, к изменению самой парадигмы фильма – фильма как комбинации цифровых моделей объектов, как комбинации цифровых сценариев – моделей взаимодействий этих объектов друг с другом и со зрителем, объединённых общей художественной, смысловой композицией замысла автора. А визуализация этих комбинаций цифровых моделей будет осуществляться непосредственно в момент воспроизведения, в зависимости от типа устройства воспроизведения и с учётом сценариев восприятия и поведения зрителя. Вот это будет – Революция!

Производственными единицами этой революции, Киноиндустрии 4.0 станут *цифровые кинофабрики* – системы комплексных технологических решений, обеспечивающих создание цифровых моделей компонентов аудиовизуального произведения и комбинацию (сборку) таких моделей в объединённое общим художественным замыслом автора аудиовизуальное произведение.

Если в современном законодательстве понятие фильма определяется как «аудиовизуальное произведение, ... состоящее из изображения зафиксированных на киноплёнке или на иных видах носителей и соединённых в тематическое целое последовательно связанных между собой кадров...», то результат производства цифровой кинофабрики – фильм как совокупность и комбинация цифровых моделей аудиовизуальных объектов и сценариев действия и взаимодействия, объединённых художественным замыслом автора.

Цифровые кинофабрики

Традиционные модели кинопроизводства достаточно широко известны, и здесь описывается, каким образом классические компоненты киностудий, используемые сегодня для производства кинофильма, могут быть представлены как компоненты цифровых кинофабрик в парадигме Киноиндустрии 4.0.

В качестве примера рассмотрим структуру типовой киностудии-гиганта, построенной ещё в индустриальном цикле (неважно, будет это российская киностудия Ленфильм или Мосфильм, или голливудская киностудия Warner Brothers, например). Организационно такая киностудия представляет собой совокупность цехов, отделов, часть из которых в настоящее время может быть представлена независимыми сервисными компаниями, включёнными в общий кинопроцесс.

В основе цифрового кинопроизводства, цифровой кинофабрики лежит идеология создания совокупности статических и динамических цифровых моделей как компонентов фильма, а сам фильм представляет собой комбинацию (сборку) таких цифровых моделей и сценариев. Можно сказать, что цифровое моделирование компонентов фильмов – это логическое развитие известных сегодня технологий – технологий производства компьютерных игр, компьютерной анимации, «захвата» и сканирования объектов и изображений, цифрового *postproduction*, технологий создания визуальных спецэффектов (VFX) и т.д. Многие из этих технологий активно применяются и в современном традиционном кинопроизводстве, но для того, чтобы сформировалась новая платформа, новая парадигма киноиндустрии, эти технологии должны быть собраны в единый «пакет технологий», который и станет ключевым фактором перехода к новой промышленной парадигме.

Актёрский отдел. Современные технологии уже сегодня позволяют с высокой кинематографической достоверностью создавать цифровых актёров, цифровых двойников актёров – *digital twins*. Технологии *motion capture* позволяют создавать цифровые маски, передающие все нюансы мимики лица и движений тела не только человека, но и животных, как реальных, так и выдуманных. Применение таких технологий уже достаточно распространено в кинопроизводстве. Например, их активно применял Д. Кэмерон при создании фильма «Аватар», но ещё в 1999 году во время съёмки фильма «Гладиатор» режиссёр Ридли Скотт был вынужден заменить погибшего во время съёмки актёра Оливера Рида его цифровой копией, созданной с помощью двойника и компьютерной графики. В 2004 году в фильме «Небесный капитан и мир будущего» появился сэр Лоуренс Оливье. В фильме «Форсаж-7» погибший во время съёмки исполнитель главной роли Пол Уокер был замещён цифровой копией, созданной благодаря привлечению к продолжению съёмки братьев актёров Калеба и Коди, лица которых затем были заменены цифровой маской, созданной путём сканирования изображений Пола Уокера. В фильме «Звёздные войны. Изгой один» в роли Таркина появился цифровой двойник актёра Питера Кушинга, умершего 23 года тому назад.

Применение цифровых копий актёров уже широко используется в рекламе. В 2013 году молодая Одри Хепбёрн «снялась» в рекламном ролике шоколада. Для создания цифровой копии использовались две актрисы –

одна актриса обладала идентичной фигурой, вторая – очень похожим лицом, которое, по меткому выражению журналистов, стало чистым холстом для нанесения цифровой копии лица молодой Одри Хепбёрн. В Китае широкий резонанс вызвало появление рекламного ролика, в котором была использована фотореалистичная цифровая копия актёра Брюса Ли. В процессе производства фильма «Первый мститель. Другая война» были отсканированы все основные актёры фильма для использования «цифровых дублёров» в сложнопостановочных трюках – фактически, речь идёт и о появлении «цифровых каскадёров» в производстве фильма.

«Цифровые актёры» решают принципиальную задачу актёрских проб на ту или иную роль – актёрские пробы превращаются в подбор цифровой модели актёра для реализации режиссёрского замысла. Ну и, конечно, цифровые модели актёров решают задачи съёмки и производства массовых сцен – уже сегодня технологии «размножения» массовки широко применяются в кинопроизводстве. Режиссёр Алексей Учитель в одном из интервью, говоря о масштабах съёмки фильма «Матильда», отмечал, что для выбора исполнительницы главной роли Матильды Кшесинской было проведено более 300 актёрских проб, а для съёмки только одного эпизода на Ходынском поле было задействовано более двух тысяч актёров!

Широкое распространение технологий создания цифровых копий актёров поднимает ряд значительных проблем в области законодательства об авторском праве. Юристам ещё предстоит отрегулировать отношения между прототипом цифрового актёра с одной стороны, художниками и программистами, создающими цифровую модель актёра, с другой стороны, и режиссёром, отвечающим за актёрскую игру цифрового двойника, с третьей стороны.

Гримёрный цех. Очевидно, что технологии «цифровых актёров» принципиально видоизменяют технологии работы гримёров в кино, но при этом пока ещё сложно будет обучить машинный интеллект таланту гримёров, хотя те или иные алгоритмы значительно упростят работу над гримом цифровых актёров.

Костюмерный цех. Развитие технологий цифрового моделирования позволит создавать любые цифровые модели одежды любых эпох и любых культур. Безусловно, речь не только о создании статических цифровых костюмов, но и об алгоритмах «поведения» одежды на теле цифрового актёра, что потребует разработки множества алгоритмов и учёта всех факторов, влияющих на такое «поведение».

Реквизиторский цех. Так же как и цифровой костюмерный цех, цифровые модели реквизита – любых вещей, любых физических объектов, используемых при съёмках фильма: мебели, различной утвари, машин, механизмов и т.д., будут необходимы для создания фильма. И здесь, как и в области цифровых костюмов, открываются новые задачи и возможности для создания

неисчислимого количества цифровых моделей реквизита, которые, безусловно, станут не только результатами творческих решений, но и объектами новой цифровой экономики кинопроизводства. Даже при необходимости съёмки физических объектов (реквизита, декораций и т.д.) использование технологий цифрового прототипирования и аддитивных технологий 3D-печати позволит овецистовать практически любую цифровую модель.

Чтобы представить масштабы грядущих изменений, достаточно обратить внимание на тот факт, что при съёмках фильма «Матильда» было разработано и пошито более семи тысяч (!) костюмов, на которые было истратчено более 12 тонн (!!!) ткани.

Пиротехнический цех. Создание эффектов взрывов, стрельбы, дыма и т.д. в современном цифровом кинопроизводстве уже давно не новшество. В рамках развития цифровых кинофабрик будут появляться новые цифровые модели, новые алгоритмы, позволяющие достичь реалистичности, неотличимой от действительной реальности.

Цех декоративно-технических сооружений, павильоны и натурные площадки. Очевидно, что и в области цифровых декораций нас ждут колоссальные изменения в парадигме цифровой кинофабрики. Уже сегодня технологический уровень компьютерного моделирования позволяет снимать масштабные полотна, не выходя из небольшого павильона. Действие всего фильма «Жизнь Пи» режиссёра Энга Ли происходит в открытом океане, а все съёмки проводились в одном павильоне. Окружающая природа в фильме «Книга джунглей» полностью «нарисована» на экране компьютера. Причём, как отмечал в своём выступлении на конференции Next Generation Cinema NABShow-2017 гуру спецэффектов Роб Легато, VFX-супервайзер и оператор-постановщик в компании Д. Кэмерона Digital Domain, речь сегодня идёт о реализации концепции фотореалистичной кинематографии. Одно дело, когда мы видим синтезированное цифровое изображение объекта, не существующего в реальности, мы понимаем, что это не реальная съёмка, так как таких объектов не существует в нашем сознании, например, планета Пандора в фильме Д. Кэмерона «Аватар». Но когда речь идёт о реальных объектах – океан, лес, джунгли и даже целый район Москвы в фильме Ф. Бондарчука «Притяжение» – уже сегодня мы не можем с достоверностью сказать – речь идёт о реально снятом объекте или о его цифровой модели. Граница между изображением реального и виртуального объектов сегодня уже не заметна. Как говорит Роб Легато, современные VFX-технологии стирают грань между производством спецэффектов и традиционным производством, компьютерное моделирование изображения становится сегодня настолько реалистичным, что уже трудно (или невозможно) найти отличия между спецэффектами и реальностью.

Технологии цифровых моделей декораций активно проникают и в отечественное кинопроизводство. В упомянутом уже фильме Ф. Бондарчука «Притяжение» специалистами московской компании Main RoadIPost

путём сканирования была создана цифровая 3D-модель реального московского района Чертаново, в котором и разворачивается действие всего фильма. Достоверность созданного изображения была настолько высокой, что даже жители самого Чертаново не заметили подмены реального изображения цифровой моделью. В концепции Киноиндустрии 4.0 любая реальная натурная съёмочная площадка, не важно, насколько удалённая географически, может быть создана в виде многомерной цифровой модели. На этом фоне уже довольно архаичным решением выглядит строительство декораций Успенского собора в фильме «Матильда» в натуральную величину!

Звукоцех. Цифровые технологии в звукозаписи и звуковом оформлении фильмов применяются уже более 35 лет. Современные системы многомерного объёмного звуковоспроизведения, такие как Dolby Atmos™ Varco IUSONO™, уже основываются на концепции создания виртуальных звуковых объектов и синтеза звукового поля, но концепция Киноиндустрии 4.0, основанная на тотальном цифровом моделировании, откроет новые возможности для работы со звуком в кино. От технологий цифрового синтеза звуковых эффектов, автоматической адаптации звукового решения на основе анализа больших данных и изображения фильма, до новых технологий синтеза звукового поля при воспроизведении фильма. Например, уникальность шума, издаваемого закрывающейся дверью обычного автомобиля в кадре, даже сегодня требует записи звука реальной двери автомобиля (либо её имитации) в условиях ателье шумового озвучивания. Применение цифровых технологий распознавания изображения позволит генерировать (или подбирать из существующей фонотеки) звук, идеально подходящий для данного кадра.

Развитие технологий машинного перевода с одного языка на другой приведёт к принципиально новым возможностям по локализации контента для разных языковых групп зрителей, к новым возможностям интерактивного взаимодействия таких языковых групп зрителей как непосредственно с контентом, так и между собой.

Технологии цифрового моделирования изображения, широко применяемые сегодня в 3D-анимации, позволяющие задавать определённые свойства объектов, например, типы фактур и параметров отражения поверхностей, устанавливать различные положения источников света и виртуальных кинокамер, также найдут своё применение и в моделировании звуковой палитры фильма. Ведь волновая природа света по своим физическим законам близка к звуковым волнам – достаточно задать в цифровой модели снимаемой сцены звуковые свойства окружающих объектов (звукопоглощение, звукоотражение), установить вместо источников освещения – источники звука, вместо виртуальных кинокамер – виртуальные микрофоны, и мы получим новую систему цифрового моделирования звукового решения фильма. И здесь опять широкое поле деятельности для разработчиков библиотек типовых цифровых моделей звуковых объектов, сценариев и процессов.

Но важно отметить, что все эти технологии не смогут подменить собой сам процесс творчества – доминирование технологического подхода не должно нивелировать работу человека-художника, определять рамки реализации замысла и лимитировать художественное восприятие. К сожалению, сегодня мы видим, как те или иные технологии ограничивают наше восприятие. Например, массовое распространение современных технологий компрессии звука (таких, как mp3) уже привело к тому, что молодое поколение не знает, как звучит тот или иной «живой» инструмент – компрессированный звук полностью окружил нас: в аудиоплеерах, в телевизорах, кино-театрах и т.д. Порой современный зритель даже уже не знает, что звучание может быть другим – доля тех, кто регулярно посещает концерты с живым звучанием (будь то консерватория или орган в католическом соборе), неуклонно сокращается. К слову, в полной мере это относится и к восприятию компрессированного изображения в аудиовизуальной сфере.

Цех комбинированных съёмок. Безусловно, тотальное распространение цифровых технологий делает комбинированные съёмки всепроникающей концепцией всего цикла производства фильма. В мире, где фильм – комбинация цифровых моделей, сам фильм становится результатом комбинированной съёмки! Даже современные технологии создания визуальных спецэффектов и цветокоррекции позволяют достичь высокого кинематографического реализма. Применение этих технологий в концепции цифрового моделирования фильма получит широкое развитие в рамках Киноиндустрии 4.0.

Цех съёмочного оборудования. Если выше я говорил о полностью цифровых моделях, как о компонентах цифровых кинофабрик, то новое киносъёмочное оборудование – яркий пример настоящей киберфизической системы, соединяющей виртуальный и физический миры на основе цифрового сканирования объектов съёмки, интернет-коммуникаций и цифрового

сетевого взаимодействия при многокамерных съёмках. Основой съёмочных технологий Киноиндустрии 4.0 вполне могут стать появляющиеся сегодня на рынке пленоптические камеры, фиксирующие «световое поле», и камеры на основе регистрации квантового излучения физических объектов. Такие камеры позволяют трансформировать в цифровые модели, в цифровые «слепки» реальные снимаемые сцены с участием реальных актёров, реальных объектов и декораций.

Массовое развитие беспилотных летательных и двигающихся аппаратов – дронов и роботов – открывает новые возможности для цифрового моделирования фильма. От задач сканирования реальных объектов съёмки до полной автоматизации всех параметров движения реальной съёмочной камеры для реализации творческого решения режиссёра и оператора-постановщика фильма.

Осветительный цех. Развитие пленоптических технологий захвата «светового поля» открывает новые возможности моделирования освещения в цифровой модели фильма. Первые результаты создания алгоритмов для рабочих станций обработки изображений, представленные немецким институтом Фраунгофера, демонстрируют широкие возможности для создателей фильмов по управлению освещением, рефокусировкой изображения, изменению точки съёмки, созданию карт глубины для объёмных изображений и т.д. в цифровом пространстве отснятой или моделируемой сцены кинофильма.

Цифровые технологии и шире – технологии цифрового моделирования фильма и аудиовизуального контента в целом, как совокупности цифровых объектов и сценариев, становятся ствольными всепроникающими и всеобъемлющими технологиями Киноиндустрии 4.0.

В общем виде цифровые кинофабрики – структурные ресурсные единицы, среды производства цифровых моделей объектов, сценариев и процессов и создания на их основе аудиовизуального контента как комбинации этих

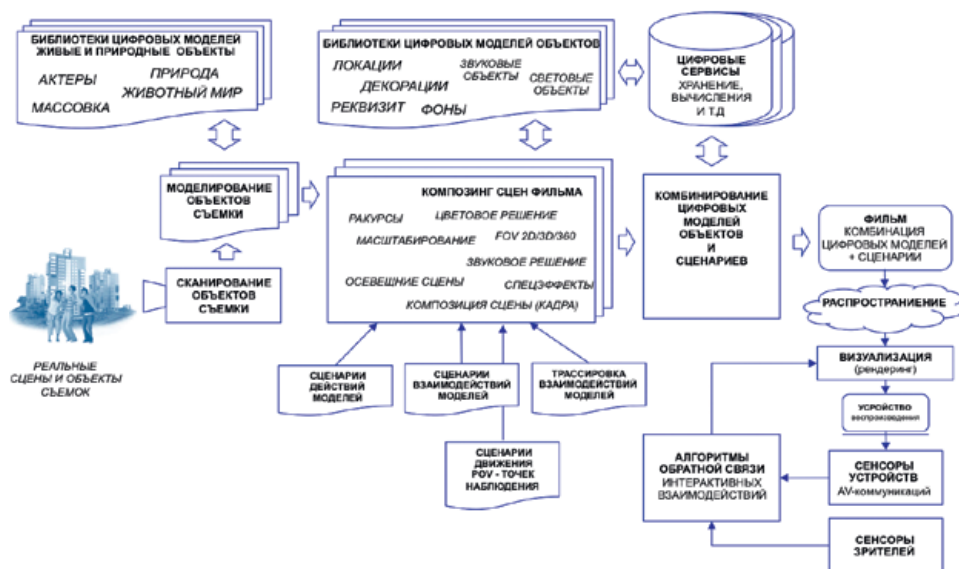


Рис. 1. Пример структуры цифровой кинофабрики Киноиндустрии 4.0

цифровых моделей. Некоторые цифровые кинофабрики могут охватывать широкий спектр производства типов цифровых моделей и их комбинации в фильмы. Другие цифровые фабрики - цифровые сервисы могут специализироваться на одном из видов производства определённого типа цифровых моделей (объектов, сценариев или процессов), либо на создании библиотек типовых цифровых моделей, либо только на комбинировании готовых моделей в фильмы, либо на оказании услуг (предоставлении цифровых сервисов) другим цифровым кинофабрикам – услуг по хранению данных, услуг по вычислениям, услуг по предоставлению инфраструктур восприятия фильмов (например, кинотеатров и других средств и сервисов аудиовизуальной коммуникации), третьи кинофабрики могут специализироваться на разработке технологий управления теми или иными процессами и т.д.

Тотальная цифровизация всего производственного процесса потребует огромных вычислительных мощностей и новых технологий распределённых вычислений, например, так называемых туманных вычислений. Весь жизненный цикл аудиовизуального контента будет основан на постоянном анализе больших массивов данных - Big Data, генерируемых для производства, во время производства и в процессе потребления контента. Очевидно, что именно вычислительные мощности и Big Data станут «нефтью и газом» новой промышленной революции.

Процессы комбинации (сборки) цифровых моделей объектов, сценариев и процессов в целостное аудиовизуальное произведение – фильм, будут построены в виде матрёшечной архитектуры: отдельные статические и динамические модели объектов будут объединяться в комбинации составных цифровых моделей, подчинённых художественному решению композиции сцены фильма и объединённых определёнными сценариями и процессами как всеобъемлющая форма фильма. Матрёшечная топология таких комбинаций в аудиовизуальное произведение – вложение одних цифровых моделей в состав других цифровых моделей – может быть как в виде единого представления целостной цифровой модели *manifold*, объединённой сценарием, так и в виде раздельного, но взаимосвязанного сценариями и моделями процессов представления *non-manifold*.

Но что будет в основе этих цифровых кинофабрик? Не только сами технологии и их «сборка в пакет» непосредственно определяют переход на новый промышленный уровень. Важна и основа, на которой эти технологии получают своё развитие – организационная структура производительных сил. Ведь именно комбинация этих двух составляющих – технологий и организационных структур производства – с энергией предпринимательства и порождает каждую новую промышленную революцию.

Организационные структуры

П.Г. Щедровицкий в работах, посвящённых формированию промышленных революций, отмечает, что каждой промышленной революции соответствует своя особая

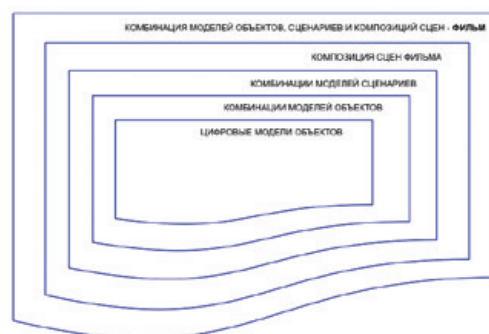


Рис. 2. Матрёшечная архитектура аудиовизуального произведения

«клеточка» – организационная структура кооперации, лежащая в основе текущего производственного уклада. Основу Четвёртой промышленной революции, по мнению П.Г. Щедровицкого, составят «технологические платформы».

С точки зрения эволюции организационных форм развития киноиндустрии, теория «клеточек» П.Г. Щедровицкого в полной мере относится и к сфере кинематографа. Первые, практически кустарные фото- и кинопроизводства, несмотря на свою обособленность друг от друга, тем не менее формировались в логике кластерного развития, формируясь вокруг экономических центров и мегаполисов (доступ к дешёвой энергии и солнечному свету) – так сформировались первые кинокластеры в США вокруг деревни Голливуд и в России в Москве (даже в дореволюционные времена, когда столица Российской империи находилась в Санкт-Петербурге, центром кинематографической промышленности была Москва). В конце 1910-х годов, в силу политических и экономических причин, в России начал формироваться новый кинокластер в Ялте. Однако своё развитие этот центр получил уже в следующем экономическом цикле российской киноиндустрии.

Вторая промышленная революция в киноотрасли привнесла с собой и новый организационный тип производства – киностудии-гиганты (студийные комплексы). Как крупнейшие голливудские киностудии занимали целые кварталы под свои громадные съёмочные павильоны и производственные цеха, так и в Советском Союзе выросли целые «киногорода» – Мосфильм, Ленфильм, Киностудия им. Горького, Свердловская киностудия, Киностудия им. Довженко в Киеве, Одесская киностудия и др.

Киностудия-гигант вбирала в себя всю технологическую цепочку производства кинофильма – это действительно были фабрики по производству фильмов, и не зря их так и называли - «фабрики грёз», ведь весь технологический цикл кинопроизводства был сосредоточен в одном месте (за исключением, пожалуй, съёмок на натуре в экспедициях).

С приходом волны Третьей промышленной революции (начало 1970-х годов в США и середина 1990-х годов в России) начинается процесс массового образования не-

больших специализированных предприятий – сервисных компаний. Сначала вокруг киностудий-гигантов, а затем и обособленно. В США в это время, например, в Сан-Франциско, а не в Голливуде, была основана знаменитая впоследствии компания по производству спецэффектов Дж. Лукаса – Industrial Light Magic. А в России на базе тех или иных производственных цехов киностудий стали возникать частные предприятия – на Мосфильме, например, появилась компания «Мосфильм-мастер», где до сих пор оказываются услуги по звуковому оформлению кинофильмов и продюсированию, выделяются творческие объединения, ставшие предвестниками появления специализированных продюсерских компаний. Когда-то единая киностудия «Ленфильм» преобразовывается в Киноассоциацию «Ленфильм», в рамках которой происходит отделение творческих объединений от производственного комплекса. Вокруг киностудии начинают появляться продюсерские и сервисные компании – компании по аренде съёмочной техники или по звуковому производству (например, компания «Невафильм», одним из основателей которой был автор), а также продюсерские компании – такие, как компания СТВ продюсера Сергея Сельянова.

С началом нового экономического цикла в российской киноотрасли возрастает с каждым годом количество компаний в области кинопроизводства. Например, в настоящее время кинопроизводство в России осуществляется на 32 киностудиях и 43 сервисными компаниями, также более чем четырьмя сотнями продюсерских компаний.

Однако все эти компании, несмотря на то, что работают во взаимосвязанных кинопроизводственных цепочках, в действительности сегодня не осуществляют полноценного цифрового взаимодействия друг с другом. Нынешнее взаимодействие носит скорее информационный характер. Как правило, основные производственные операции выполняются с фиксированными изображениями и передаются последовательно от компании к компании по мере прохождения производственного цикла. Безусловно, часть технологических процессов в современном кинопроизводстве может выполняться параллельно – например, обработка и генерация изображений ещё на этапе съёмочного процесса, но в целом современный производственный процесс – линейный: работа над звуковым решением, как правило, осуществляется уже после монтажа изображения. И, зачастую, необходимость внесения каких-либо изменений в уже отснятый материал, вызванная, например, новым художественным решением режиссёра, ведёт к возврату в фазу съёмочного периода фильма. Выпуск разных версий фильма, адаптированных для просмотра на большом экране кинотеатра или на экране телевизора или планшета, как правило, ведёт к созданию разных физических версий фильма, и т.д.

В новом экономическом цикле развития киноиндустрии цифровое всеобъемлющее производство аудиовизуального контента будет осуществляться на основе полного цифрового сетевого взаимодействия всех участников

производственного процесса на уровне жизненного цикла цифровых моделей, комбинация которых и образует фильм. Разработчики алгоритмов, создатели цифровых моделей, поставщики вычислительных мощностей, авторы художественных решений, объединяющих весь замысел фильма в общую комбинацию этих цифровых моделей, будут находиться в единой сети взаимодействий, не важно распределённой или нет географически (границы тут теряют свой первоначальный смысл). Главное, что все участники процесса создают не просто цифровые модели объектов фильма, а цифровые модели, способные взаимодействовать друг с другом в едином пространстве фильма. И здесь существенная роль будет отводиться и технологиям цифровой сертификации, и интерфейсам совместимости всех цифровых компонентов фильма.

Технологии производства, объединённые единой логикой, философией, общими стандартами и интерфейсами, представляют собой уникальную технологическую платформу, на основе которой и формируется определённая аудиовизуальная экосистема. В парадигме Киноиндустрии 4.0 таких платформ и экосистем может быть множество, они могут быть взаимосовместимыми (открытыми) и изолированными (закрытыми), но принципиально, что в общем смысле цифровая технологическая платформа лежит в основе всего жизненного цикла аудиовизуального контента – от его замысла до восприятия зрителем.

Новая, Четвёртая промышленная революция и будет построена на основе принципиально новой организационной формы производительных сил – на основе цифровых технологических платформ.

Цифровые технологические платформы

В общем виде именно технологическая платформа, как основа цифровой экосистемы технологий, лежит в основе логики Индустрии 4.0. На базе цифровых технологических платформ разрабатываются не только цифровые модели непосредственно тех или иных объектов и сценариев, но и процессов, лежащих в основе жизненного цикла либо отдельных цифровых объектов, либо комбинаций таких цифровых объектов, представляющих собой «верхний» слой – конечный продукт цифровых фабрик Четвёртой промышленной революции. Как отмечает П.Г. Щедровицкий, технологические платформы демократизируют коммуникацию и кооперацию, снижают транзакционные издержки на эти процессы и издержки вообще, выступая на текущем этапе более эффективной, чем ТНК, формой создания, накопления, освоения и распространения знаний.

Такие компании, как Apple, Alphabet (Google), Microsoft, Amazon и Facebook, создавшие собственные цифровые технологические платформы, входят в десятку крупнейших компаний по капитализации в мире, обогнав по этому показателю многие компании нефтегазового и финансового секторов экономики – лидеров Третьей промышленной революции! Важно обратить внимание, что все пять компаний реализуют глобальные амбиции в области создания, распространения и хранения аудиови-

зуального контента и имеют все шансы и возможности стать локомотивами Киноиндустрии 4.0, сметая все старые организационные формы кооперации в традиционном кинопроизводстве.

Цифровые технологические платформы Киноиндустрии 4.0 будут определять и бизнес-модели производства, распространения и потребления аудиовизуального контента. В основе технологий обеспечения безопасности контента (как его содержимого, так и противодействия нелегальному использованию самого контента), моделей финансирования и возврата инвестиций, управления авторскими правами, в том числе, и правами на цифровые виртуальные объекты, будут лежать технологии распределённых реестров, так называемые, технологии цепочек блоков – *blockchain*.

Переход от концепции фильма как зафиксированной последовательности изображений и фонограмм к модели фильма как комбинации цифровых моделей объектов, сценариев и процессов, объединённых художественным замыслом автора, открывает новые возможности в развитии технологий восприятия (потребления) аудиовизуального контента.

Технологии восприятия цифрового контента и Киноиндустрия 4.0

Разнообразие современных средств аудиовизуальной коммуникации, т.е. средств предъявления контента, привело к необходимости адаптации контента к каждому виду таких средств. Выделяем три типа средств аудиовизуальной коммуникации – экранов, с помощью которых зритель непосредственно потребляет аудиовизуальный контент:

- большеэкранные системы коллективного просмотра, к которым относятся экран кинотеатра, видеостены и уличные (стадионные и т.д.) дисплеи;
- экраны, предназначенные для семейного/группового просмотра – телевизоры, компьютерные мониторы, экраны домашних кинотеатров;
- экраны персонального/индивидуального восприятия – планшеты, ноутбуки, смартфоны, очки со встроенными дисплеями, в том числе дисплеи виртуальной, дополненной и смешанной реальности, и т.д.

Все эти типы экранов сегодня требуют, как отмечалось выше, своих особых версий аудиовизуального контента. Производство фильма, снятого для домашнего экрана, на экране кинотеатра, или наоборот, воспроизведение фильма, снятого для широкоформатного экрана кинотеатра, на экране смартфона, как правило, ведёт к потере зрительского интереса – именно из-за несоответствия масштабов сцены фильма размеру экрана.

Развитие технологий производства фильма как комбинации цифровых моделей объектов, существующих не в виде зафиксированных «готовых» изображений, а в виде масштабируемых, многомерных по своей сути цифровых образов, изображение которых формируется в процессе визуализации (рендеринга) непосредственно в момент демонстрации на экране (по аналогии с современными

компьютерными играми) в комбинациях, зависящих от условий просмотра, от выбранных зрителем точек наблюдения за сюжетом, не только открывает новые возможности для развития, например, технологий объёмного воспроизведения, в том числе, начинающих сегодня своё развитие технологий виртуальной и дополненной реальности, технологий цифровой «голографии», но и представляет собой модель адаптивного воспроизведения аудиовизуального контента – фильма с обратной связью от устройств отображения фильма и сенсоров кинозрителя. В отличие от современных технологий воспроизведения аудиовизуального контента, в основе адаптивных технологий лежит не масштабирование, кадрирование или панорамирование компонентов фильма – изображения и звука, а рекомбинация цифровых моделей объектов фильма по заданным сценариям воспроизведения, определяемым устройствами коммуникации и условиями представления контента зрителю с целью максимального восприятия смыслов фильма.

Такие адаптивные технологии открывают новые художественные возможности для создателей аудиовизуального контента – от фильмов с изменяемыми сценариями до версий фильмов тех или иных авторитетных людей. В определённой степени возможно воспроизведение фильма в том виде, каким бы нам его представил кто-то из, например, великих кинематографистов – на основе анализа всех художественных приёмов представления фильма того или иного режиссёра.

В концепции новой технологической парадигмы мы можем говорить о мультимодальности аудиовизуального контента не только как совокупности модусов – средств передачи смысла (изображение, звук, текст) в контексте практики аудиовизуальной коммуникации, но и с точки зрения теории распространения контента – многовариантности воспроизведения фильма на различных устройствах коммуникации.

Киноиндустрия 4.0 шире, чем цифровое моделирование фильма. Тотальная цифровизация всех процессов включает и цифровизацию всех аспектов создания инфраструктуры новой киноиндустрии. В Киноиндустрии 4.0 зритель сможет не только быть наблюдателем, но и действовать внутри контента в виртуальном мире событий аудиовизуального произведения, а новые способы восприятия фильмов кардинально поменяют не только технологии, например, публичного кинопоказа, но и существенно изменят архитектуру кинозала, само понятие традиционного киноэкрана как средства воспроизведения кинофильма. Цифровое моделирование кинозалов, которое может стать одной из технологий формирования Киноиндустрии 4.0, – моделирование акустических свойств кинозалов и мест публичного восприятия фильмов, включая моделирование материалов звукоизоляции и звукопоглощения, свойств визуализации фильма при воспроизведении и т.д. – открывает новые возможности не только перед создателями таких программных решений, но и перед архитекторами и дизайнерами цифровой среды кинопотребления.

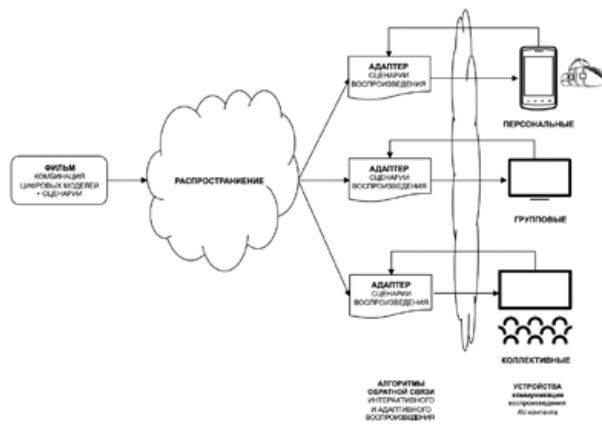


Рис. 3. Адаптивное (мультимодальное) воспроизведение фильма на разных типах устройств AV-коммуникации

Адаптивные технологии восприятия цифрового контента в совокупности с технологиями анализа больших данных о конкретном потребителе контента, в том числе, на основе технологий искусственного интеллекта и в сочетании с технологиями нейроинтерфейсов, позволяют обеспечивать предиктивные и партисипативные сценарии воспроизведения цифрового контента – фильма – на основе анализа личностных поведенческих характеристик, усвоенных библиотек архетипов и образов, реакций конкретного кинозрителя или группы кинозрителей, вплоть до изменения скорости передачи смыслов, заложенных художественным решением режиссёра.

Таким образом, мы можем обозначить ещё одно свойство нарождающегося нового цикла экономического развития киноиндустрии (в классификации автора) – цикла конвергенции. В парадигме Киноиндустрии 4.0 речь будет идти не только о конвергенции самих устройств аудиовизуальной коммуникации – трёх экранов, не только о конвергенции каналов дистрибуции аудиовизуального контента, но и о конвергенции технологий создания аудиовизуального контента – от технологий производства компьютерной анимации и игр до цифрового моделирования аудиовизуального контента.

Анализ потенциальных технологий, которые станут основой Киноиндустрии 4.0, неотделим от осознания возрастающей роли человеческого творческого капитала в мире цифровых моделей.

Человеческий творческий капитал в Киноиндустрии 4.0

Несмотря на появление принципиально новых цифровых киберфизических технологий и парадигм производства, распространения и восприятия аудиовизуального контента в рамках Четвёртой промышленной революции в киноотрасли, роль человека, творца, носителя замысла фильма будет только возрастать. Сам замысел, его художественное воплощение и композиция остаются уделом человека-художника, артиста, актёра. Конечно, можно научить машину писать музыку и создавать сценарии, зрительные образы и формировать смыслы, но за всем этим «машинным творчеством» стоит челове-

ский мозг. Очевидно, что обсуждение теорий машинного творчества следует оставить за рамками наступающего нового цикла развития киноиндустрии.

Полная цифровизация всех процессов производства фильма, безусловно, приведёт к фундаментальным изменениям сути большинства профессий в киноотрасли. Какие-то профессии исчезнут, какие-то изменятся до неузнаваемости, а какие-то сохранят свои, существующие и сегодня, базовые черты. Нет нужды отмечать, что, очевидно, отомрут профессии, связанные с учётом и диспетчеризацией – будь то финансовый учёт или управление производственным циклом; профессии, связанные с непосредственным физическим трудом: строители декораций, швеи, ответственные за пошив костюмов; иной вспомогательный персонал съёмочных групп и киностудий. Часть профессий – декоратора, пиротехника, художника по костюмам, звукорежиссёра, оператора-постановщика – претерпят значительные изменения, но не в самой сути работы и творчества, а в технологиях: все задачи будут решаться на уровне цифрового моделирования тех или иных объектов фильма, но определяющим останется творчество человека – создание сценариев и само художественное воплощение замысла фильма. Подчеркну ещё раз, что переход к Киноиндустрии 4.0 не подразумевает отказ от участия актёров, художников, дизайнеров, режиссёров, операторов, звукорежиссёров в создании фильма. Творчество и его реализация остаются уделом человеческого таланта, исполнительского и актёрского мастерства – речь о том, что новые технологии цифрового моделирования станут лишь новой технологической основой производства фильма.

Именно киноиндустрия в первую очередь может стать локомотивом изменений современных моделей образования, основанных на доминирующей логике STEM – «наука, технология, инжиниринг и математика». Уже сегодня спрос на гуманитарную составляющую в STEM-образовании неуклонно растёт. Всё большее количество образовательных учреждений добавляют ещё одну компоненту в STEM-образование: компоненту «А» – от английского «Art» – STEAM. Возрастает спрос на преподавание современным инженерам таких дисциплин, как психология, искусство, философия, нейропсихология. Именно без этой составляющей «Art» немыслимо будущее киноиндустрии в эпоху Четвёртой промышленной революции.

Как отметил Роб Легато, один из создателей концепции фотореалистичной кинематографии, даже в цифровом мире все идеи рождаются в аналоговой форме – в виде музыкальных фраз, записанных в нотах, в виде скетчей и эскизов визуального решения, в виде записей на листочках блокнота или даже на салфетке.

Пожалуй, концепция Киноиндустрии 4.0 может стать не только основой формирующегося направления MediaNet в рамках российской Национальной технологической инициативы, но также стать драйвером запуска и Национальной гуманитарной инициативы в России!

Технологическая концепция Киноиндустрии 4.0

Технологическая модель Киноиндустрии 4.0, как совокупности различных аудиовизуальных систем, в парадигме Четвёртой промышленной революции в кино, нового большого цикла развития аудиовизуальной отрасли – цикла конвергенции, состоит из трёх уровней:

Первый уровень (основа)

– Технологические контент-платформы – совокупности и иерархии процедур, алгоритмов, структур, констант, библиотек, операционных систем, объединённые единой семантикой, логикой, философией, стандартизированные, автономные, открытые либо замкнутые системы взаимосовместимых базовых технологий, лежащих в основе всего жизненного цикла аудиовизуального контента и предназначенные для производства средств производства – пользовательского программного обеспечения, программируемых цифровых моделей и сред создания, хранения, распространения и зрительского восприятия цифрового аудиовизуального контента.

– Технологическая платформа является основой определённой аудиовизуальной экосистемы и определяет общую функциональность такой экосистемы. Технологические платформы могут иметь внешние интерфейсы (открытые платформы) и быть изолированными (закрытые платформы).

Второй уровень (производство)

– Цифровые кинофабрики – системы комплексных технологических решений, обеспечивающих создание цифровых моделей компонентов аудиовизуального произведения (объектов, сценариев и процессов) и комбинацию таких моделей в объединённое общим художественным замыслом автора аудиовизуальное произведение на основе технологий и стандартов технологических платформ аудиовизуальных экосистем.

– Сетевое (распределённое) производство, хранение, распределение и доставка посредством средств аудиовизуальной коммуникации к зрителю аудиовизуального контента, основанное на цифровом взаимодействии и новых моделях разделения труда всех участников производственного процесса.

– Облачные и туманные цифровые платформы хранения и распространения фильмов в цифровой среде, в том числе, на основе модулей памяти с ДНК-архитектурой.

– Технологии адаптивного, предиктивного, партисипативного воспроизведения и восприятия фильма зрителем на основе сенсорных датчиков и нейротехнологий, технологий анализа больших массивов данных и новых технологических решений формирования аудиовизуального продукта непосредственно в процессе его воспроизведения, в том числе, многомерное масштабируемое воспроизведение и цифровая «голография».

Третий уровень (жизненный цикл)

– Технологии управления жизненным циклом аудиовизуального произведения – от замысла до его реализации в виде комбинации цифровых моделей и восприятия зрителем.

– Технологии управления процессами анализа больших данных.

– Технологии управления бизнес-циклами аудиовизуального контента.

– Технологии управления авторскими правами на замысел, цифровые модели и их комбинации, в том числе, в процессе восприятия зрителем.

Россия и Киноиндустрия 4.0

Надвигающаяся Четвёртая промышленная революция предоставляет российской киноиндустрии уникальный шанс совершить скачок в своём развитии в ближайшее будущее и стать одним из лидеров новой концепции производства, распространения и потребления фильмов и аудиовизуального контента в целом. Основа Четвёртой промышленной революции – знания. И основные инвестиции сегодня должны быть направлены именно в знания, в образование, в компетенции, в научные исследования, в формирование новых технологических принципов и концептов: от финансирования НИОКР в области архитектуры контент-платформ, создания пилотных проектов цифровых кинофабрик, разработки технологий создания и комбинирования цифровых моделей на основе математических алгоритмов, статистических моделей, материаловедения, бионики и физики твёрдых тел и материалов, технологий управления авторскими правами и обеспечения как безопасности самого контента, так и защиты пользователей от вредоносного контента, и разработки технологий восприятия аудиовизуального контента – до новых профессиональных и образовательных стандартов в области цифровой киноиндустрии, новых программ гуманитарного и инженерного образования.

Новая промышленная революция не только принесёт новые технологии, но и поставит новые задачи исследования гуманитарных и социальных аспектов формирования Киноиндустрии 4.0 – в области искусствоведения, понимания взаимоотношений человек-машина, в области гуманитарных технологий передачи и сжатия смыслов, психологии и нейропсихологии и т.д.

Речь идёт об определении направлений развития киноотрасли на основе решения инженерно-технологических «проблем-вызовов», находящихся «за гранью понимания» отраслевого министерства. Программы кинофикации цирков, финансирование затрат на оборудование кинотеатров в малых городах, неоднократные попытки возрождения киностудии «Ленфильм» в формате советской киностудии-гиганта или планы по реконструкции Киностудии им. М.Горького, реализация проекта реновации киностудии «Союзмультфильм» – это решения, принятые порой даже не в рамках текущей парадигмы, а в рамках ещё только Второй промышленной революции! Инвестиции в старые платформы и концепции, как «инъекции в протез» – бессмысленны. Необходимо создание нового пространства, нового «пазла», комбинации новых платформ и технологий в отрасли.



Рис. 4. Цифровая аудиовизуальная экосистема Киноиндустрии 4.0

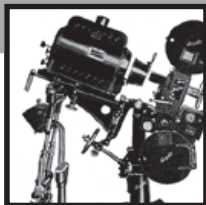
Вместо проектов воссоздания киностудий-гигантов советского типа необходимо разрабатывать проекты «цифровых кинофабрик», а часть бюджетов «программ ребейтов» регионов необходимо выделять на создание цифровых 3D-моделей российских городов и регионов – вот где могут быть реализованы таланты российских программистов, художников, историков, архитекторов и др. Речь не только о моделировании современных зданий и проспектов, но и о цифровых моделях всех элементов городской среды разных (!) эпох – от вывесок и транспарантов до одежды, машин, вещей и прочих артефактов. Речь может идти о создании целой национальной библиотеки цифровых моделей регионов России. В свою очередь, создание силами различных команд такой библиотеки потребует и развития сферы цифровой стандартизации и сертификации цифровых моделей, семантики цифровых сценариев и процессов. Такие проекты уже реализуются за рубежом, например, создаются цифровые модели крупных мегаполисов. И при наличии таких моделей уже нет необходимости формировать экспедиции съёмочных групп в те или иные регионы для съёмок на местах, а часть средств, предусмотренных сегодня на «программы ребейтов» может быть направлена на поддержку развития регионального кинопроизводства – ведь в Киноиндустрии 4.0 географическая разобщённость больше не будет препятствием для совместного кинопроизводства!

Но для реализации таких планов, для создания основы развития российской киноиндустрии в парадигме Четвёртой промышленной революции «лицам, принимающим решения», необходимо заглянуть за свой собственный фронт, либо, осознав границу, предел своего понимания, отойти в сторону, открыв дорогу российским технологическим кинопредпринимателям к формированию будущего киноотрасли, к Киноиндустрии 4.0. ■

Автор выражает особую признательность П.Г. Щедровицкому, А.И. Боровкову, рабочей группе MediaNet Национальной технологической инициативы, командам Форсайт-флота НТИ 2016 и регионального форсайт-флота «Северо-Запад 2017» за существенное влияние на образ мышления автора и подсмотренные идеи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Шваб К. Четвёртая промышленная революция. Перевод с англ. / М.: Издательство «Э», 2017 - с. 9.
2. Марш П. Новая промышленная революция. Потребители, глобализация и конец массового производства. Перевод с англ. / М.: Издательство Института Гайдара, 2015 – 420 с.
3. Долгин А. Манифест новой экономики. Вторая невидимая рука рынка. / М.: АСТ, 2010 – 224 с.
4. Рифкин Д. Третья промышленная революция: Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом. Перевод с англ. / М.: Альпина нонфикшн, 2017– 410 с.
5. Интернет-ресурс ТАСС <http://tass.ru/ekonomika/4451565>. Программа «Цифровая экономика».
6. Березин О. Большие циклы и конъюнктура рынка кинотеатрального показа: монография - СПбГУ: Реноме, 2014. – 240 с.
7. Федеральный закон от 22.08.1996 N 126-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «О государственной поддержке кинематографии Российской Федерации» <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=221298&fld=134&dst=100000001,0&rnd=0.56870477754415#0>
8. Интернет-ресурс Filmpro: <https://www.filmpro.ru/materials/35371>. «Как авторы «Форсажа 7» сделали цифрового Пола Уокера».
9. Dave Iltzkoff. «How 'Rogue One' Brought Back Familiar Faces» The New York Times 23.12.2016. https://www.nytimes.com/2016/12/27/movies/how-rogue-one-brought-back-grand-moff-tarkin.html?_r=0
10. Интернет-газета «Глас народа»: <http://glasnarod.ru/obshchestvo/115104-uchastniki-Itavridyr-obsudili-s-uchitelem-film-Imatildar>. Участники «Тавриды» обсудили с кинорежиссёром А. Учителем фильм «Матильда».
11. Интернет-портал LightField Forum: <http://lightfield-forum.com/2014/09/fraunhofer-dca-presents-light-field-plugin-for-avid-media-composer/>. Fraunhofer DCA Presents Light-Field Plugin for Avid Media Composer.
12. Щедровицкий П.Г. Материалы лекций «Как бизнесу в регионах извлечь выгоды из Новой промышленной революции». Томск, 25.05.17. Лекция 1, с. 36. Лекция 2., с. 8.
13. Интернет-портал «Фонд кино»: <http://fondkino.ru/documents/download/554/>. Российская киноиндустрия – 2016. Цифры. Аналитическое исследование.
14. Интернет-портал CNBC: <https://www.cnbc.com/2017/03/08/the-top-10-us-companies-by-market-capitalization.html#slide=9>. The Top 10 US Companies By Market Capitalization.
15. Интернет-портал «Хайтек»: https://hightech.fm/2017/08/09/focusing-on-steam?utm_source=telegram&utm_campaign=daily_channel. ИТ-компаниям нужны гуманитарии, а не STEM-специалисты.
16. Боровков А.И. «Проектирование за гранью интуиции генерального конструктора», 2011.
17. ГОСТ Р 52440-2005 «Модели местности цифровые. Общие требования».



ПАНКРАТИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТИВЫ для профессиональной кинематографии



С.Б. Бирючинский, к.ф.-м.н., профессор, sbiriuchinsky@optical4d.com,
ООО «Оптико-механические системы», РФ

Аннотация

Рассмотрены некоторые оптические схемы объективов переменного увеличения, применяемые в профессиональной кинематографии. Проведено сравнение некоторых потребительских характеристик панкратических объективов различной архитектуры. Приведены примеры расчёта оптических систем объективов, применяемых для различных задач кинематографии. Даны практические рекомендации по разработке и использованию объективов переменного увеличения.

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

■ К настоящему времени панкратические объективы (объективы с переменным фокусным расстоянием) используются достаточно широко в профессиональном кинематографе. По сравнению с объективами постоянного фокусного расстояния доля панкратических объективов на рынке непрерывно растёт, что связано с совершенствованием и удешевлением технологии их производства. Одновременно с этим растут также и требования, предъявляемые к профессиональным киносъёмочным объективам переменного увеличения.

В настоящее время существуют различные методы как локальной (поиск решения в заданном направлении до достижения локального минимума оценочной функции),

ZOOM LENSES FOR PROFESSIONAL CINEMA

S. Biryuchinskiy, Ph.D, Prof., sbiriuchinsky@optical4d.com,
Opto-mechanical Systems Limited, Russia

Abstract

Some optical schemes of zoom lenses applied in professional cinematography are considered. Comparison of some consumer characteristics of the zoom lens various architecture is carried out. Examples of optical systems calculation applied to various problems of cinematography are given. Practical recommendations about development and use of zoom lenses are given.

Keywords: lens, zoom lens, aberrations, optical system, optimization, bandwidth, image transform.

так и глобальной оптимизации (поиск оптимального решения из множества локальных), успешно применяемые для разработки панкратических объективов, в том числе, и для профессиональной кинематографии [1–6]. Существует достаточно большое количество отечественных работ, посвящённых расчёту и оптимизации различных видов объективов, в том числе, и панкратических. Однако практически все из них являются нерезультативными и неактуальными в настоящее время (их актуальность была утрачена десятки лет назад). В частности, это связано с применением морально устаревших методик полуаналитического синтеза объективов с последующей оптимизацией коммерческим программным обеспечением, что приводит к ограниченному диапазону получен-

ных решений и, соответственно, отсутствию правильного глобального решения.

На рис. 1 показана оптическая схема объектива компании TAMRON CO., LTD., пригодного для профессиональной кинематографии [7]. Диапазон фокусных расстояний составляет 68.8–291.3 мм. Объектив не содержит асферических поверхностей, и их наличие не является необходимым в данном построении архитектуры оптической системы. Наличие материалов с аномальной дисперсией в первой группе линз эффективно компенсирует продольные хроматические aberrации, особенно в диапазоне больших фокусных расстояний (сложно разрешимая задача для многих объективов). С целью достижения максимально возможных потребительских характеристик в базовой оптической системе была применена архитектура с шестью перемещаемыми компонентами, что позволило эффективно скорректировать не только сферическую aberrацию и астигматизм, но и дисторсию. Отличительной особенностью данной архитектуры оптической системы объектива является его минимальные габариты.

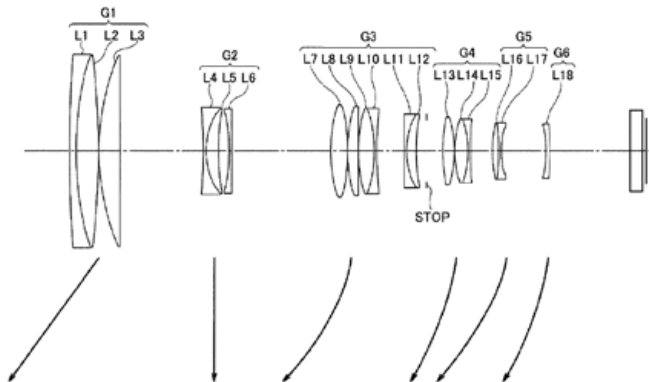


Рис. 1. Оптическая схема объектива TAMRON CO., LTD. с фокусным расстоянием 68.8–291.3 мм
Fig. 1. The optical scheme of a zoom objective TAMRON CO., LTD. with focal length 68.8–291.3 mm

На рис. 2, в качестве примера, приведена оптическая схема объектива с большим диапазоном изменения фокусных расстояний, разработанным компанией HANWHA TECHWIN CO., LTD. [8]. Базовая оптическая схема содержит 13 линз и обеспечивает изменение фокусных расстояний в диапазоне 68.8–291.3 мм. Объектив содержит всего два перемещаемых компонента и особенностью данной оптической системы является достаточно хорошее качество изображения во всём диапазоне фокусировок. Данный объектив не обладает парфокальностью (неизменность дистанции фокусировки при изменении фокусного расстояния, трудно достижимое потребительское качество объектива в сочетании с неизменным масштабом изображения при перефокусировке), что ограничивает применение подобных оптических систем в профессиональной кинематографии. Другим недостатком подобных систем является меняющаяся знак

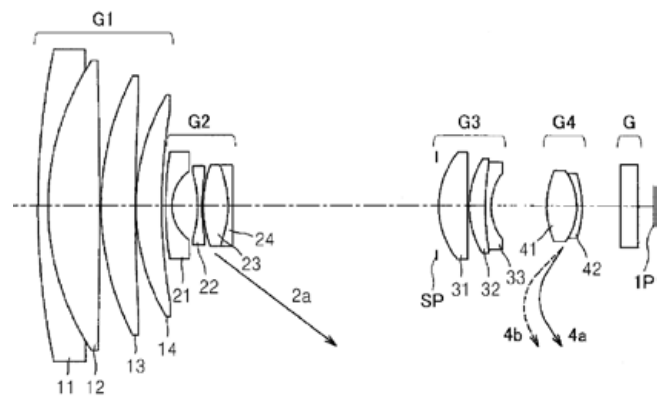


Рис. 2. Оптическая схема объектива HANWHA TECHWIN CO., LTD. с фокусным расстоянием 68.8–291.3 мм
Fig. 2. The optical scheme of a zoom objective HANWHA TECHWIN CO., LTD. with focal length 68.8–291.3 mm

дисторсия, однако больших значений она не достигает (до 5%). В данной оптической системе применены две асферические поверхности для компенсации внеосевых aberrаций.

Другим примером оптической системы с достаточно большой кратностью изменения фокусных расстояний является объектив NICON Corp. [9], показанный на рис. 3. Фокусные расстояния изменяются в диапазоне 18.6–291.6 мм. Базовая оптическая система содержит 19 линз, три из которых являются асферическими. Представленный объектив характеризуется высоким качеством изображения, низким уровнем хроматизма и дисторсии (что особенно важно, учитывая высокую кратность изменения фокусных расстояний). Однако для достижения данного эффекта все группы линз выполнены перемещаемыми. Это ухудшает потребительские качества системы и накладывает некоторые ограничения на применение в

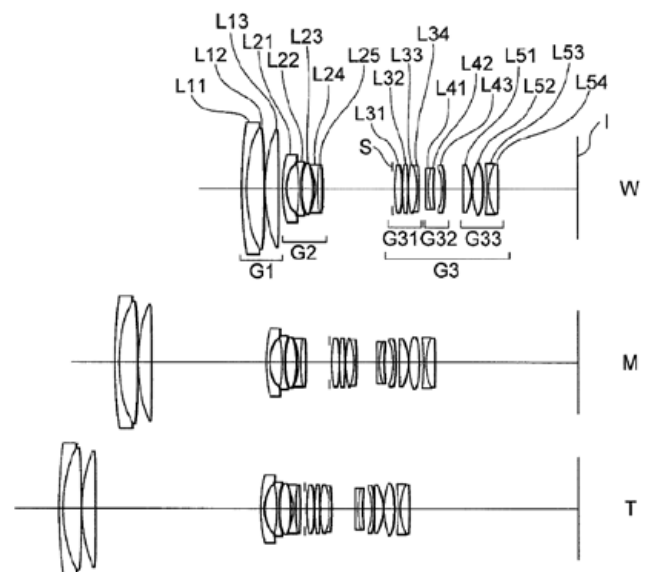


Рис. 3. Оптическая схема объектива NICON Corp. с фокусным расстоянием 18.6–291.6 мм
Fig. 3. The optical scheme of a zoom objective NICON Corp., with focal length 18.6–291.6 mm

современной профессиональной кинематографии (ранее изменение длины объектива являлось вынужденной необходимостью и не являлось серьёзным недостатком).

Значимой потребительской характеристикой любого современного киносъёмочного объектива является распределение освещённости на кинокадре, создаваемое бликами, вызванными переотражениями света, а также правильное «боке» системы (следует учитывать сочетание этих двух потребительских характеристик). Долгое время решение подобных задач не представлялось возможным (но при этом некоторые объективы получались достаточно удачными без специальной оптимизации). Пример расчёта бликов, возникающих при двойном отражении в вышерассмотренном объективе (рис. 3), показан на рис. 4 [9]. В данном случае распределение освещённости, создаваемое бликами, оптимизировано (при этом также учитывается и функциональное влияние диафрагмы) с помощью рационального выбора архитектуры оптической системы на этапе предварительного расчёта (такой подход возможен не всегда), а также с помощью оптимизированных просветляющих покрытий (в данном случае применялись многослойные широкодиапазонные покрытия с низким коэффициентом отражения на наиболее проблемных оптических поверхностях).

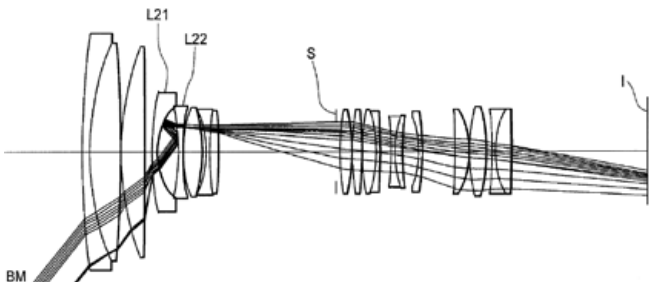


Рис. 4. Блики, возникающие при двойном отражении в объективе рис. 3

Fig. 4. The lens flares arising at double reflection in fig. 3 lens

Среди отечественных изготовителей оптики в настоящее время единственной фирмой, разрабатывающей и выпускающей объективы для профессионального кинематографа, является «Оптика-Элит» [10]. Один из панкратических объективов данной компании показан на рис. 5. Фокусное расстояние объектива изменяется в диапазоне 11–110 мм при T-Stop, равном 2.3, что является достаточным для большинства киносъёмочных задач.

Примером высококачественных киносъёмочных объективов являются системы, выпускаемые компанией ZEISS серии CZ.2, показанные на рис. 6 [11]. Объективы рассчитаны на полноформатный кадр (формат кадра 24×36 мм) и при этом обладают достаточно компактными габаритами, низким уровнем хроматизма и дисторсии, а также соответствуют требованиям для съёмки в формате 6K. Все показанные на рис. 6 объективы обладают T-Stop, равным 2.9, а также обладают парфокальностью.

Другим примером высококачественного панкратического объектива для широко распространённого формата кадра S35+ (диагональ 31.4 мм) является система Angénieux серии Optimo Style [12] с фокусным расстоянием 25–250 мм и минимальной дистанцией съёмки 1.22 м (рис. 7). T-Stop составляет 3.5. При этом объектив обладает внутренней фокусировкой и практически неизменным масштабом изображения при перефокусировке (breathing эффект отсутствует), что также является важной потребительской характеристикой (труднодостижимой с учётом подобных значений диапазона фокусных расстояний и формата кадра).



Рис. 5. Объектив «Оптика-Элит» с фокусным расстоянием 11–110 мм

Fig. 5. Optica-Elite zoom lens with focal length 11–110 mm



Рис. 6. Компактные панкратические объективы ZEISS серии CZ.2

Fig. 6. ZEISS Compact Zoom CZ.2 series lenses



Рис. 7. Панкратический объектив Angénieux серии Optimo Style с фокусным расстоянием 25–250 мм

Fig. 7. Zoom lens Angénieux Optimo Style series with focal length 25–250 mm

С целью повышения качества изображения и минимизации массогабаритных характеристик в некоторых объективах могут содержаться достаточно сложные по профилю асферические поверхности (в том числе, с точками перегиба). Примером такой системы для формата кадра $17,3 \times 13$ мм (диагональ 21,6 мм) является объектив OLYMPUS M.Zuiko Digital ED [13] с фокусным расстоянием 12–40 мм и T-Stop, равным 2.8 (оптическая схема показана на рис. 8). Длина объектива составляет 84 мм, максимальный наружный диаметр 69.9 мм. Минимальная дистанция съёмки составляет 20 см. В составе оптической системы четыре асферических линзы, среди которых есть элементы как с двухсторонней асферикой, так и с асферикой сложного профиля. Следует отметить недостижимость заявленных технических характеристик объектива в указанных габаритах другими методами.

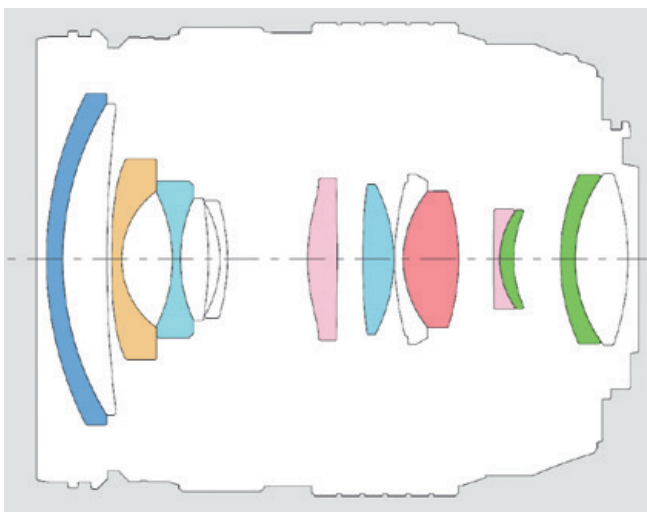


Рис. 8. Панкратический объектив OLYMPUS M.Zuiko Digital ED с фокусным расстоянием 12–40 мм

Fig. 8. Zoom lens OLYMPUS M.Zuiko Digital ED with focal length 12–40 mm

На рис. 9 показан панкратический полноформатный (Full Frame 35 мм) объектив Tokina Cinema с фокусным расстоянием, изменяемым в диапазоне 16–28 мм [14]. Объектив содержит 15 линз и обладает T-Stop 3. При этом минимальная дистанция до объекта съёмки составляет 280 мм. Внешний диаметр корпуса объектива равен 114 мм, что является наиболее типичным для применения в профессиональной кинематографии. Данная оптическая система достаточно хорошо соответствует требованиям, предъявляемым объективам для 4K киносъёмки и для заявленного T-Stop (3), обладает небольшим количеством линз. Это достигается за счёт применения трёх асферических элементов, один из которых позволяет эффективно скорректировать дисторсию, а также двух элементов со сверхнизкой дисперсией (их расположение упрощает архитектуру оптической системы после диафрагмы за счёт уменьшения хроматизма). Отличительной особенностью данного объектива является практически неизменный масштаб изображения при перефокусиров-

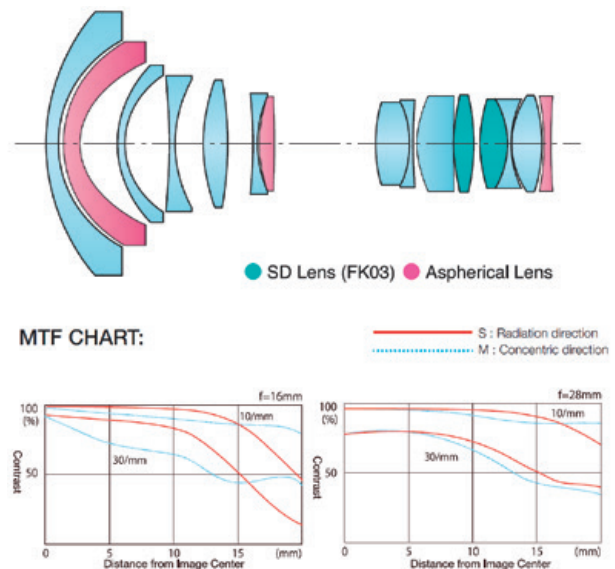


Рис. 9. Панкратический объектив Tokina Cinema с фокусным расстоянием 16–28 мм

Fig. 9. Zoom lens Tokina Cinema with focal length 16–28 mm

ке, и дополнительно к этому обеспечивается парфокальность при смене увеличения.

В профессиональной кинематографии, помимо качества изображения и, соответственно, количества передаваемой объективом информации, не менее важным является правильная передача изображения, искажённого аберрациями системы. Поскольку практически во всех случаях оптическая система даже современных кинообъективов далека от дифракционного предела (особенно на периферии кадра), то часто возникают ситуации, когда объективы с одинаковым, достаточно высоким качеством изображения (даже с практически одинаковыми функциями передачи модуляции) являются совершенно различными в плане пригодности для современной профессиональной кинематографии. Наибольшую степень значимости имеет хроматизм, наименьшую – кривизна поля изображения. В последнем случае имеется в виду парааксиальная кривизна, так как в случае достаточно светосильного объектива и примерно равномерного качества изображения по всему полю непарааксиальная кривизна мала. Наличие астигматизма (всех порядков) приводит к заметному изменению распределения качества изображения по полю в областях, близких к резко изображаемому пространству (возможно также появление дополнительных областей относительно резко изображаемого пространства, причём различных в разных плоскостях). Ситуация ещё усугубляется тем, что в процессе киносъёмки изменяется значение диафрагмы, причём иногда в динамике. Уменьшение диаметра диафрагмы даже в хорошо оптимизированном объективе может приводить к некоторому ухудшению качества изображения, особенно заметному на мелких контрастных объектах. Оптимальная плоскость установки при этом смещается, что на практике приводит к несоответствию установлен-

ного значения на шкале дистанций реальным данным (в динамике это приводит к смещению области резко отображаемого пространства и/или искажению его формы). Особенно сильно данный эффект заметен на светосильных объективах, причём для панкратических объективов результирующие изменения могут быть различными для разных фокусных расстояний.

Следует отметить, что для большинства современных панкратических профессиональных кинообъективов вышеописанные эффекты относительно невелики, хотя и могут быть заметны. По причинам необходимого снижения себестоимости производства объективов тщательная оптимизация объектива возможна только на каком-то одном значении диафрагмы (как правило, полностью открытом), и не во всех случаях оптимизация передачи изображения в окрестности области резко изображаемого пространства является возможной (но в хороших объективах этот параметр, по крайней мере, контролируется). На рис. 10 показан пример появления дополнительной области резко изо-

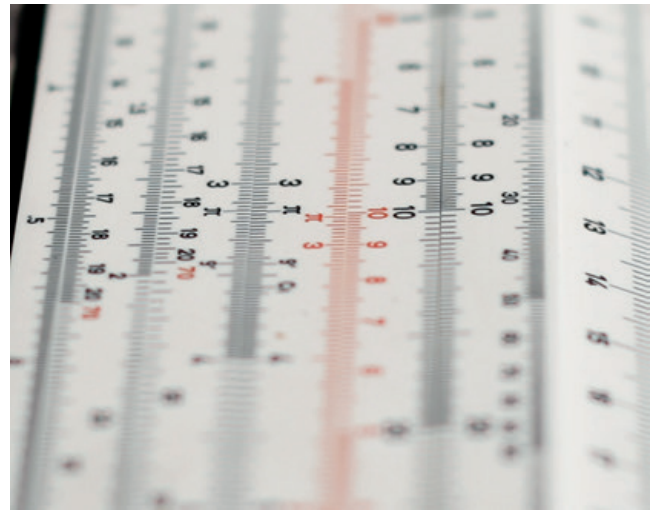


Рис. 10. Влияние aberrаций на глубину резко изображаемого пространства

Fig. 10. Influence of aberrations on depth of focus

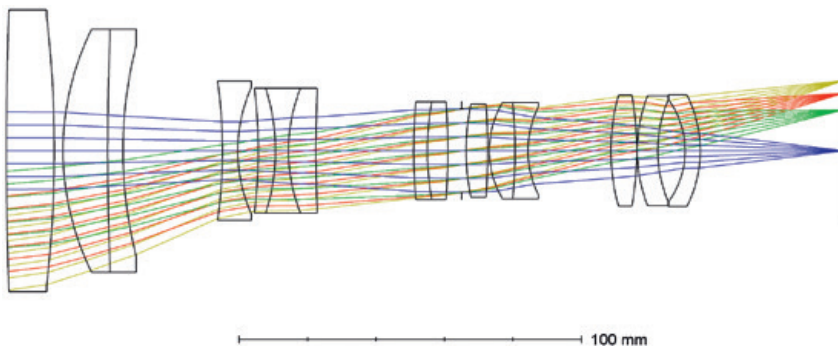


Рис. 11. Оптическая схема панкратического объектива с фокусным расстоянием 75-150 мм для съёмки в формате 8K

Fig. 11. The optical scheme of a zoom objective with focal length 75-150 mm for 8K cinema

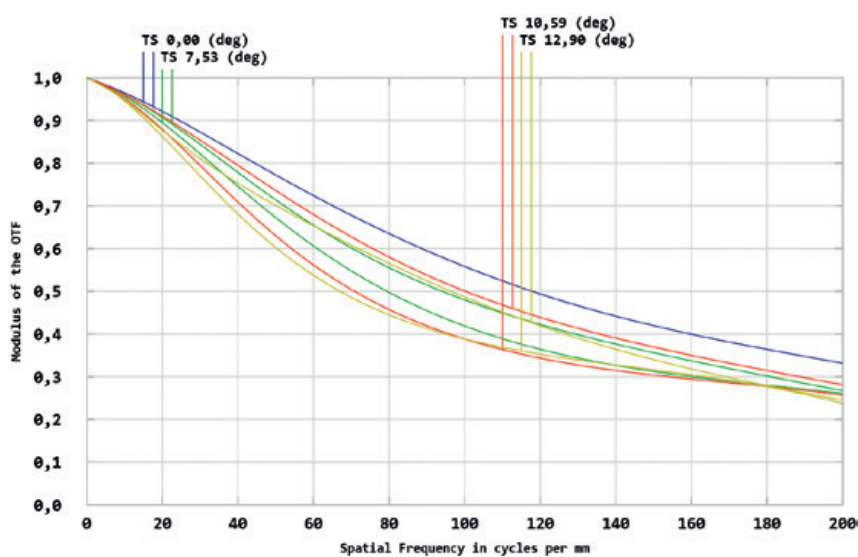


Рис. 12. График полихроматической функции передачи модуляции для оптической системы рис. 11

Fig. 12. Plot of a polychromatic modulation transfer function for fig. 11 optical system

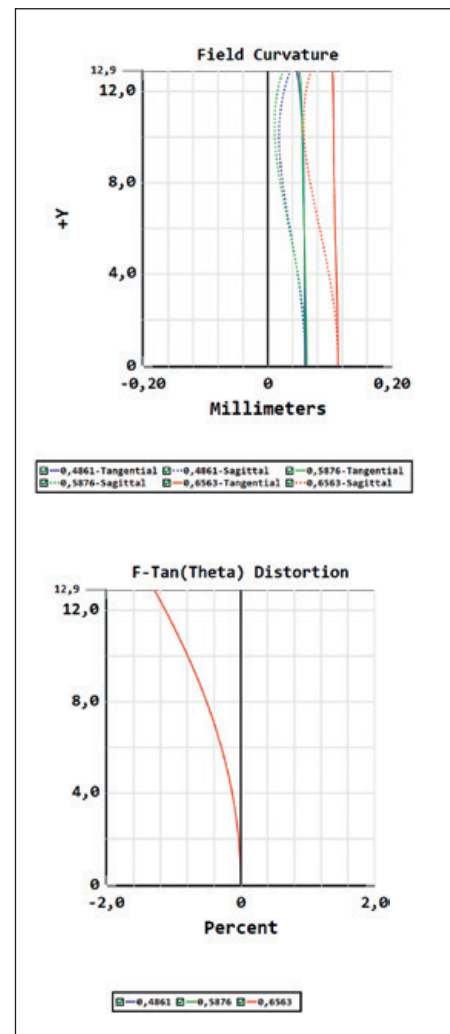


Рис. 13. График кривизны поля и дисторсии объектива рис. 11

Fig. 13. Plots of a field curvature and distortion for fig. 11 optical system

бражаемого пространства для объектива, рассчитанного автором данной статьи. Из рисунка видна дополнительная область резко изображаемого пространства на переднем плане и её отсутствие на заднем. Отрицательный эффект (или снижение потребительского качества изделия) в данном случае незначителен за счёт применения разработанной автором методики оптимизации киносъёмочных оптических систем. Дальнейшая оптимизация технически возможна, но нецелесообразна по техническим причинам (увеличение себестоимости и ухудшение других потребительских качеств).

На рис. 11 показана оптическая схема панкратического объектива с фокусным расстоянием 75–150 мм, разработанная автором данной статьи. Функционально разработанный объектив аналогичен системе рис. 9 и также является полноформатным (диагональ кадра 43.3мм). При T-Stop, равном 4, объектив полностью соответствует требованиям для съёмки в формате 8K (как видно из графика функции передачи модуляции, показанном на рис. 12). Базовый вариант архитектуры

оптической системы содержит 15 линз и не использует асферические поверхности, что выгодно отличает разработанную систему от аналогичных. Дисторсия объектива является практически незаметной и не превышает 2% (рис. 13). В простейшем случае подобная архитектура оптической системы содержит три перемещаемых компонента, но в зависимости от предъявляемых к объективу требований количество подвижных элементов может быть увеличено. Представленная схема относится к категории оптимальных оптических систем (представляет собой идеальное решение для данной постановки задач) и не может быть улучшена без ухудшения других характеристик.

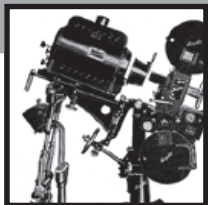
В данной работе были рассмотрены лишь некоторые панкратические объективы с наиболее интересными архитектурами оптических систем. Освоение современной промышленностью производства тонких оптических компонентов высокого качества позволяет существенно увеличить диапазон оптимизируемых потребительских качеств кинообъективов. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. *Milton Laikin*, "Lens Design", Fourth Edition, CRC Press 2006.
2. *Ono I., Kobayashi S., Yoshida K.*: Optimal lens design by real-coded genetic algorithms using UNDX. In: Computer methods in applied mechanics and engineering, pp. 438–497 (2000).
3. *Nagata Y.* (2004) The Lens Design Using the CMA-ES Algorithm. In: Deb K. (eds) Genetic and Evolutionary Computation – GECCO 2004. GECCO 2004. Lecture Notes in Computer Science, vol. 3103. Springer, Berlin, Heidelberg.
4. *Julie Beaulieu, Christian Gagn'e, Marc Parizeau*, Lens System Design and Re-Engineering with Evolutionary Algorithms / Proc. of GECCO 2002, July 9–13, New York.
5. *M. van Turnhout, P. van Grol, F. Bociort and H. P. Urbach*, Obtaining new local minima in lens design by constructing saddle points, Opt. Express 23, 6679–6691 (2015).
6. *Бирючинский С.Б.* Моделирование и оптимизация архитектуры оптических систем для современного кинематографа / Мир Техники Кино. 2015. № 37. С. 8–12.
7. Патент США US 9,594,234 B2, 2017.
8. Патент США US 9,557,541 B2 2017.
9. Патент США US 9,523,843 B2 2016.
10. www.optica-elite.com
11. www.zeiss.com/cine
12. www.ingenieux.com
13. olympusimage.com.sg
14. www.TokinaCinema.com

REFERENCES

1. *Milton Laikin*, "Lens Design", Fourth Edition, CRC Press 2006.
2. *Ono I., Kobayashi S., Yoshida K.*: Optimal lens design by real-coded genetic algorithms using UNDX. In: Computer methods in applied mechanics and engineering, pp. 438–497 (2000).
3. *Nagata Y.* (2004) The Lens Design Using the CMA-ES Algorithm. In: Deb K. (eds) Genetic and Evolutionary Computation – GECCO 2004. GECCO 2004. Lecture Notes in Computer Science, vol 3103. Springer, Berlin, Heidelberg.
4. *Julie Beaulieu, Christian Gagn'e, Marc Parizeau*, Lens System Design and Re-Engineering with Evolutionary Algorithms / Proc. of GECCO 2002, July 9–13, New York.
5. *M. van Turnhout, P. van Grol, F. Bociort and H. P. Urbach*, Obtaining new local minima in lens design by constructing saddle points, Opt. Express 23, 6679–6691 (2015).
6. *Biryuchinskiy S.* Modeling and optimization of optical systems architecture for a modern cinema / Mir Tehniki Kino. 2015. № 37, pp. 8–12.
7. USA patent US 9,594,234 B2, 2017.
8. USA patent US 9,557,541 B2 2017.
9. USA patent US 9,523,843 B2 2016.
10. www.optica-elite.com
11. www.zeiss.com/cine
12. www.ingenieux.com
13. olympusimage.com.sg
14. www.TokinaCinema.com



МАХОВИЧНЫЙ ГИРОДЕМПФЕР ТЕЛЕКАМЕРЫ для съёмки с рук



А.В. Кулешов, к.т.н., доцент, akul1974@mail.ru, В.В. Фатеев, к.т.н., профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана, РФ

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы построения системы гироскопической стабилизации телекамеры при съёмках с рук. Использование для этих целей гироскопических демпферов позволяет обеспечить достаточно высокую точность стабилизации. Однако такие устройства обладают рядом недостатков, в первую очередь, связанных с большими габаритами и массой гиродемпфера, а также с низким качеством управления. Предложена схема гиродемпфера с маховиком в качестве опорного тела. Показано, что использование такого маховичного гиродемпфера позволяет обеспечить высокую точность стабилизации при сохранении требований по мобильности съёмки при меньших массе и габаритах и удобном управлении. Приведены математическая модель маховичного гиродемпфера и результаты исследований эффективности подавления колебаний телекамеры и её управляемости в зависимости от параметров гиродемпфера.

Ключевые слова: маховичный гиросtabilизатор, маховик, маховичный гиродемпфер, подавление колебаний.

FLYWHEEL GYROSCOPIC DAMPER FOR HANDHELD CAMERA

A. Kuleshov, Ph.D, Associate Prof., akul1974@mail.ru, V. Fateev, Ph.D, Prof., Bauman Moscow State Technical University, Russia

Abstract

The article deals with the construction of a system of gyroscopic stabilization of a television camera for filming with hands. The use of gyroscopic dampers for this purpose makes it possible to provide a sufficiently high accuracy of stabilization. However, such devices have a number of disadvantages, primarily related to the large mass and dimensions of the gyroscopic damper, as well as the poor quality of control. The article proposes a scheme of a gyroscopic damper with a flywheel as a support body. It is shown that the use of such a flywheel gyroscopic damper allows to provide high accuracy of stabilization while maintaining mobility requirements of filming, with smaller masses and dimensions and convenient control. The mathematical model of the flywheel gyroscopic damper and the results of studies of the efficiency of suppressing of the camera oscillations and its controllability depending on the parameters of the gyroscopic damper are presented.

Keywords: flywheel gyrostabilizer, flywheel, flywheel gyro damper, suppression of the oscillations.

Введение

В настоящее время для получения качественного изображения при съёмках с подвижных носителей широко используются различные стабилизаторы углового положения телекамеры. Это в основном гироскопические устройства, использующие индикаторный и, реже, силовой принципы стабилизации. Высокое или достаточно

высокое качество угловой стабилизации при использовании индикаторных гиросtabilизаторов на объектах различной степени подвижности (автомобилях, самолётах, вертолётах, катерах и различных вариантах операторской техники: тележках, кранах, канатных дорожках, и даже находящихся в руках оператора) достигается установкой телекамеры в подвесе (чаще всего, в кардановом) и

правильным выбором параметров обратной связи гиросtabilизатора [1]. Однако индикаторные гиросtabilизаторы крайне неудобны при съёмке с рук, прежде всего, в связи с большим весом и громоздкостью. Попытки использовать гироскопы для стабилизации изображения телекамеры, находящейся в руках оператора, не привели к желаемым результатам. Среди стабилизаторов такого типа следует, прежде всего, отметить гиросдемпферы. Такие приборы имели ранее широкое применение и разрабатывались различными иностранными фирмами, в числе которых «Корпорация оптических исследований и разработок» [2], «Кеньон Лаб» [3, 4], «Айтек» [5], и советскими организациями, в том числе, киностудией им. А.П. Довженко [6], НИКФИ и МВТУ им. Н.Э. Баумана [7, 8].

Несмотря на некоторые особенности, присущие каждой разработке, все такие приборы имеют общую принципиальную схему, содержащую по каждому каналу один или два двухстепенных роторных гироскопа, упруго связанных с основанием. Гироскопы установлены таким образом, что векторы кинетического момента и скорости прецессии каждого гироскопа расположены в плоскости, перпендикулярной оси стабилизации. Угловая стабилизация телекамеры осуществляется с помощью гироскопических моментов, возникающих при движении гироскопов вокруг осей прецессии под влиянием возмущающих моментов. Для восстановления начального положения гироскопов при отсутствии возмущающих моментов, а также для панорамирования гироскопы имеют упругую связь с основанием.

Основные недостатки гиросдемпфера заключаются в следующем. Обязательное наличие упругих связей практически исключает стабилизацию на низких частотах. Для получения приемлемого качества стабилизации необходимо иметь гироскопы со значительным кинетическим моментом, что даже при питании гиросдемпферов током высокой частоты приводит к увеличению веса и энергопотребления. Другим существенным недостатком гиросдемпфера являются его ограниченные возможности при панорамировании. Скорость панорамирования ограничена величиной жёсткости упругой связи по оси прецессии и тем меньше, чем больше кинетический момент гироскопа, и соответственно, не может быть увеличена без снижения точности угловой стабилизации. Применение гиросдемпфера со спаренными гироскопами улучшает динамические возможности устройства, однако, в два раза увеличивает его вес, что часто оказывается недопустимым. Указанные недостатки гиросдемпфера в значительной степени устраняются в предложенном маховичном гиросдемпфере при сохранении его основного преимущества – удобства и мобильности съёмки.

Маховичный гиросдемпфер

Электрокинематическая схема маховичного гиросдемпфера по одному каналу представлена на рис. 1. Ма-

ховичный гиросдемпфер содержит маховик и индикаторный гироскоп, связанные автоматической системой управления. В качестве маховика целесообразно выбрать магнито-электрический корпусной датчик момента типа ДМ-20, ДМ-18 (масса 215 г и 310 г, соответственно), как показано в [2–5]. Ось вращения датчика момента совпадает с осью стабилизации телекамеры, ротор закреплён в корпусе гиросдемпфера, а статор может свободно вращаться и является маховиком. В зависимости от типа телекамеры в некоторых случаях момент инерции статора может быть немного увеличен. В качестве гироскопа может быть применён любой малогабаритный индикаторный трёхстепенный гироскоп или датчик угловой скорости, например, волоконно-оптический или микромеханический вибрационный. В последнем случае упрощается тип корректирующего звена и резко снижаются массогабаритные характеристики.

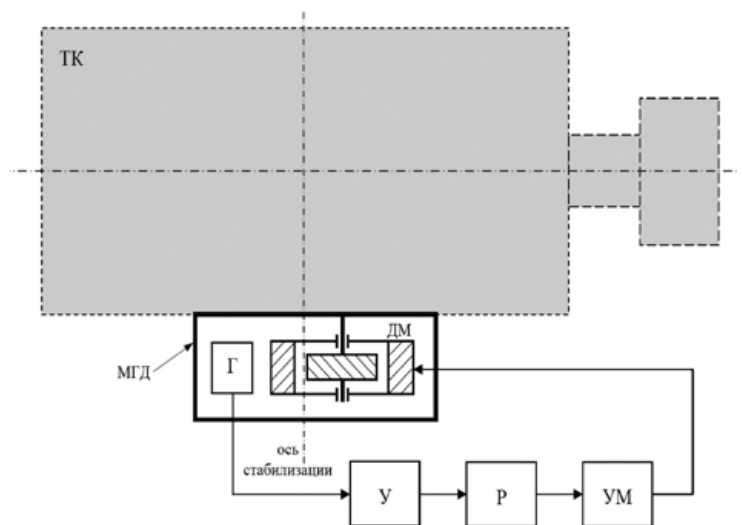


Рис. 1. Электрокинематическая схема маховичного гиросдемпфера: ТК – телекамера, МГД – маховичный гироскопический демпфер, Г – гироскоп, ДМ – датчик момента (статор датчика – маховик), У – усилитель, Р – регулятор, УМ – усилитель мощности

Принцип действия маховичного гиросдемпфера аналогичен принципу действия индикаторного гиросtabilизатора. Угол отклонения телекамеры вокруг оси стабилизации под действием возмущающего момента измеряется гироскопом, сигнал которого после преобразования и усиления подаётся на датчик момента для создания стабилизирующего момента. При этом реактивный момент приложен к маховику. Исключение режима «насыщения» датчика момента обеспечивается правильным выбором передаточной функции регулятора.

Уравнения движения маховичного гиросдемпфера, записанные в операторной форме, имеют следующий вид:

$$J_n s^2 \alpha(s) + D_n s \alpha(s) = M_0(s) + M^e(s) + M_D(s) - M_c(s),$$

$$J_m s^2 \beta(s) + M_D(s) = M_c(s),$$

$$M_c(s) = K W_p(s) \alpha(s), M_0(s) = -K_0 (\alpha(s) + \alpha_{\text{впр}}(s)), M_D(s) = D_m (s\beta(s) - s\alpha(s)).$$

где: J_n – осевой момент инерции телекамеры с МГД, D_n – коэффициент демпфирования, определяемый, в основном, влиянием рук оператора, α – угол отклонения телекамеры вокруг оси стабилизации в инерциальном пространстве, измеряемый с помощью гироскопа, $\alpha_{упр}$ – требуемый угол отклонения телекамеры в режиме управления, J_m – осевой момент инерции маховика, определяемый, прежде всего, моментом инерции статора датчика момента, D_m – коэффициент демпфирования датчика момента, K_0 – коэффициент упругости, определяемый возможностями оператора сохранить заданное им угловое положение телекамеры, K – коэффициент усиления канала угловой стабилизации, β – угол поворота маховика, $W_p(s)$ – передаточная функция регулятора, M_0 – момент, создаваемый оператором в стремлении сохранить желаемое положение телекамеры, M_c – момент стабилизации, M_D – момент, приложенный к телекамере со стороны датчика момента, пропорциональный угловой скорости маховика относительно платформы, M^e – внешний возмущающий момент, в том числе, вызванный тремором рук оператора.

Учтём, что в уравнениях движения гиродемпфера можно сделать упрощения, основанные на реальном инженерном представлении о его параметрах [2]. Так, например, можно с уверенностью пренебречь угловой скоростью вращения телекамеры по сравнению со скоростью вращения маховика в выражении для момента M_D .

Структурная схема маховичного гиродемпфера с учётом указанных обозначений представлена на рис. 2. Следует отметить, что величина K_0 , определяемая возможностями оператора удерживать камеру в заданном направлении в инерциальном пространстве при действии различных возмущающих моментов M^e , крайне мала (в противном случае, не возникает вообще необходимости создавать какие-либо стабилизирующие изображение устройства). Поэтому в дальнейшем при исследовании устойчивости, точности и параметров регулятора настоящего стабилизатора учитываться не будет. Формальное введение K_0 в структурной схеме на рис. 2 потребует только при исследовании управляемости маховичного гиродемпфера.

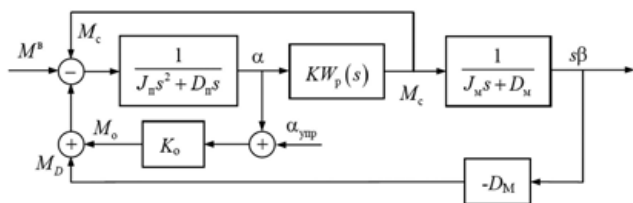


Рис. 2. Структурная схема маховичного гиродемпфера

Кроме того, в отсутствие реального K_0 следует признать, что построение какого-либо реального стабилизатора углового положения в общепринятом понимании [1, 6, 7] вообще невозможно, поскольку в такой схеме отсутствует какое-либо тело, во взаимодействии с которым [2, 8] возможно было бы создание стабилизиру-

ющего момента, противодействующего возмущающему моменту внешних сил (в том числе, действующих непроизвольно со стороны оператора, например, тремор). При попытке создать такой гиростабилизатор следует учитывать, что всегда возникает ситуация, при которой при действии постоянного момента внешних сил $M^e = const$ и при принятой передаточной функции регулятора [6],

$$\text{например, } W_p(s)=1, \quad W_p(s) = \frac{1 + \tau_1 s}{1 + \tau_2 s},$$

создаваемый датчиком момента, также будет постоянным. При этом равный и противоположно направленный момент реакции будет приложен к маховику (роль которого в данной схеме играет статор датчика момента), что приведёт к постоянному увеличению его угловой скорости, а в результате – к «насыщению» маховика.

Во избежание этого недопустимого явления выберем передаточную функцию регулятора в виде $W_p(s)=s^2$. Как будет показано далее, это приведёт к условному увеличению момента инерции телекамеры с вытекающими из этого последствиями в виде некоторого демпфирования, т.е. снижения амплитуды колебаний телекамеры (и соответственно, улучшения качества изображения) на некоторых частотах возмущающего силового воздействия (например, на частоте тремора рук оператора). Такие устройства для этой же цели применялись и ранее [9], однако положительный эффект в них достигался значительным увеличением массы и габаритов всего демпфирующего устройства (и по последней причине дальнейшего распространения не получили).

Устойчивость

Структурная схема маховичного гиродемпфера с выбранным регулятором, с указанными упрощениями и преобразованной обратной связью представлена на рис. 3.

Для исследования устойчивости и качества регулирования маховичного гиродемпфера получим выражения для передаточной функции системы регулирования $W(s)$, разомкнутой в точке а.

С вышеобозначенным учётом малости K_0 выражение для передаточной функции обратной связи по моменту (выделена пунктиром на рис. 3) имеет вид:

$$W_{oc}(s) = \frac{1}{J_m s + D_m} (-D_m) + 1 = \frac{T_m s}{T_m s + 1},$$

где $T_m = \frac{J_m}{D_m}$ – постоянная времени маховика.

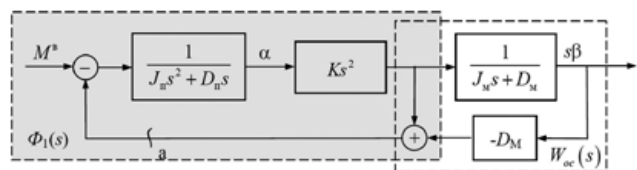


Рис. 3. Преобразованная структурная схема маховичного гиродемпфера

Заметим, что в представленном виде обратной связи отсутствует (по сравнению с рис. 3) положительная ветвь обратной связи.

Передаточная функция разомкнутой системы гиросдемпфера имеет вид:

$$W(s) = \frac{1}{J_n s^2 + D_n s} K s^2 \frac{T_m s}{T_m s + 1} = \frac{K T_m s^2}{D_n (1 + T_n s)(1 + T_m s)},$$

где $T_n = \frac{J_n}{D_n}$ – постоянная времени платформы.

Характеристическое уравнение имеет вид:

$$1 + W(s) = 0$$

или

$$(D_n T_n + K) T_m s^2 + D_n (T_n + T_m) s + D_n = 0.$$

При положительных коэффициентах такое характеристическое уравнение соответствует устойчивой системе по критерию Гурвица.

Качество регулирования

Для повышения качества регулирования путём исключения «смазывания» изображения в гиросtabilизаторах оптических систем и приборов стремятся к исключению комплексных корней характеристического уравнения устойчивой системы стабилизации. В нашем случае это потребует выполнения следующего неравенства, полученного из решения характеристического уравнения,

$$D_n (T_n + T_m)^2 > 4 T_m (D_n T_n + K).$$

Здесь следует ввести некоторый параметр $\mu = \frac{K}{J_n}$,

характеризующий отношение величины коэффициента обратной связи автоматической системы K , имеющего размерность момента инерции, к моменту инерции телекамеры. В этом случае неравенство, выполнение которого обеспечивает действительность корней характеристического уравнения маховичного гиросдемпфера, принимает вид:

$$\mu < \frac{(T_n - T_m)^2}{4 T_m T_n}.$$

Практически во всех реальных случаях постоянная времени платформы T_n , больше постоянной времени маховика T_m из-за большой величины момента инерции телекамеры по сравнению с величиной момента инерции маховика (в нашем случае, определяемым моментом инерции статора малогабаритного датчика момента). При этом, если пренебречь T_m по сравнению с T_n , то можно пользоваться более простой формулой для параметра μ :

$$\mu < \frac{T_n}{4 T_m}.$$

Для подтверждения этого предположения, получим из структурной схемы на рис. 3 (с учётом вышеизложенных

предположений) передаточную функцию замкнутой системы регулирования по углу стабилизации α относительно возмущающего момента

$$\Phi_{\alpha, M^B}(s) = \frac{(1 + T_m s)}{J_n T_m (1 + \mu) s^2 + (J_n + D_n T_m) s + D_n} \cdot \frac{1}{s} = \frac{\alpha(s)}{M^B}. \quad (1)$$

Для определения физической роли параметра μ в процессе демпфирования колебаний телекамеры представим бесконечно большим момент инерции маховика. Это превратит маховичный гиросtabilизатор на структурной схеме рис. 2 в обыкновенный индикаторный гиросtabilизатор, а маховик – в то инерционное тело (основание), во взаимодействии с которым создаётся момент стабилизации телекамеры M_c . Структурная схема такого условного гиросtabilизатора выделена на рис. 3 пунктиром и цветом, а его передаточная функция замкнутой системы по углу стабилизации α относительно возмущающего момента – обозначена $\Phi_1(s)$.

Подставив на основании этого представления в выражение (1) передаточной функции замкнутой системы $T_m \rightarrow \infty$, или (что то же самое), получив выражение для $\Phi_1(s)$ из структурной схемы на рис. 3, получим:

$$\Phi_{\alpha, M^B}(s) = \Phi_1(s) = \frac{1}{J_n (1 + \mu) s^2 + D_n s}.$$

Из последнего выражения следует, что параметр μ условно увеличивает реальный момент инерции телекамеры J_n в $(1 + \mu)$ практически очень мало (примерно на 10%), увеличивая массу системы, что физически обосновывает целесообразность создания маховичного гиросдемпфера для подавления возмущающих колебаний.

Далее, учитывая выражение $T_n = J_n / D_n$ для постоянной времени платформы, из выражения (1) получаем:

$$\Phi_{\alpha, M^B}(s) = \frac{(1 + T_m s)}{T_n T_m (1 + \mu) s^2 + (T_n + T_m) s + 1} \cdot \frac{1}{D_n s}. \quad (2)$$

Предполагая действительность корней полинома в знаменателе, представим выражение (2) в виде

$$\Phi_{\alpha, M^B}(s) = \frac{(1 + T_m s)}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)} \cdot \frac{1}{D_n s}. \quad (3)$$

Сравним между собой коэффициенты при одинаковых степенях « s » в выражениях (2) и (3) с учётом ранее введённого практически совершенно реального предположения $T_n > T_m$, и, используя приближённое равенство для малых ε

$$\sqrt{1 \pm \varepsilon} \approx 1 \pm \frac{1}{2} \varepsilon,$$

получим:

$$\Phi_{\alpha, M^B}(s) = \frac{1}{D_n s} \cdot \frac{(1 + T_m s)}{(1 + (T_n - T_m (1 + \mu)) s)(1 + T_m (1 + \mu) s)}.$$

С учётом несколько более жёсткого предположения $T_n > T_m (1 + \mu)$ получаем окончательное приближённое практически обоснованное выражение для передаточной

функции замкнутой системы маховичного гиродемпфера по углу стабилизации телекамеры:

$$\Phi_{\alpha, M^B}(s) \cong \frac{1}{D_n s} \cdot \frac{(1 + T_m s)}{(1 + T_n s)(1 + T_m(1 + \mu)s)} \quad (4)$$

На основании полученного выражения на рис. 4 построена типовая спрямленная логарифмическая амплитудная частотная характеристика выходного угла стабилизации телекамеры с маховичным гиродемпфером в зависимости от частоты моментного возмущения постоянной амплитуды; для сравнения пунктиром показана аналогичная частотная характеристика системы без гиродемпфера, т.е. соответствующая передаточной функции

$$\Phi_{\alpha, M^B}(s) \cong \frac{1}{D_n s} \cdot \frac{1}{(1 + T_n s)},$$

полученной из выражения (4) для случая $T_m = 0$ и описывающей поведение обыкновенного твёрдого тела в вязкой среде под действием внешних моментов.

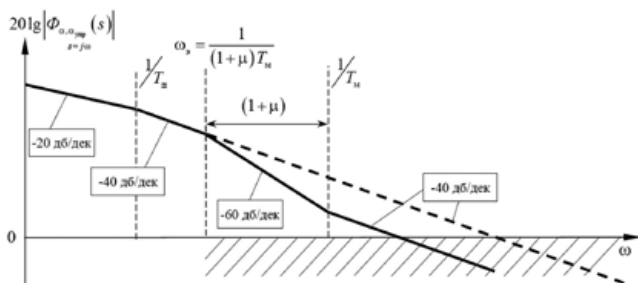


Рис. 4. Типовая спрямленная логарифмическая частотная характеристика телекамеры с маховичным гиродемпфером

Из графика следует, что зона эффективного подавления возможных колебаний телекамеры, т.е. зона эффективности (на рис. 4. заштрихована), начинается с частоты

$$\omega_0 = \frac{1}{(1 + \mu)T_m}.$$

Частота ω_0 зависит от коэффициента усиления обратной связи маховичного гиродемпфера K (при заданном моменте инерции платформы с телекамерой), а также от момента инерции маховика J_m (практически, от момента инерции статора датчика момента) и его коэффициента демпфирования D_m . Подавление колебаний с максимальным возможным коэффициентом подавления начинается с частоты $1/T_m$ и составляет величину, равную $(1 + \mu)$. Так, при $\mu = 9$ максимальный коэффициент подавления колебаний телекамеры составит величину, равную 10. Такое подавление, очевидно, следует признать эффективным. При выборе параметров маховичного гиродемпфера необходимо стремиться к тому, чтобы максимальная частота возмущений (например, тремора рук оператора) попадала в зону эффективности.

Следует отметить, что предложенный в настоящей статье маховичный гиродемпфер телекамеры может применяться не только при съёмках с рук. Его применение

возможно для улучшения качества угловой стабилизации в устройствах типа Stedicam и в качестве самостоятельного гиостабилизатора в различных подвесах (например, на борту квадрокоптера [10]) после незначительных доработок, связанных с введением системы разгрузки маховика, структура которой определяется видом применения.

Управляемость

Вернёмся к структурной схеме маховичного гиродемпфера, изображённой на рис. 2, и примем $K_0 \neq 0$, но по-прежнему реально малым и составим передаточную функцию замкнутой системы по управлению $\Phi_{\alpha, \alpha_{ynp}}$:

$$\Phi_{\alpha, \alpha_{ynp}}(s) = K_0 \frac{(1 + T_m s)}{(J_n s^2 + D_n s + K_0)(1 + T_m s) + K T_m s^3} = \frac{K_0 (1 + T_m s)}{J_n T_m (1 + \mu) s^3 + D_n (T_n + T_m) s^2 + (T_m K_0 + D_n) s + K_0} = \frac{\alpha(s)}{\alpha_{ynp}(s)} \quad (5)$$

Для получения наглядной типовой логарифмической амплитудной частотной характеристики представим (5) в виде

$$\Phi_{\alpha, \alpha_{ynp}}(s) = \frac{(1 + T_m s)}{(1 + T_1 s)(1 + T_2 s)(1 + T_3 s)}, \quad (6)$$

где T_1, T_2, T_3 – неизвестные постоянные времени. Получим приблизительные выражения для постоянных времени T_1, T_2, T_3 , сравнивая коэффициенты при одинаковых степенях s в выражениях (5) и (6) при известных допущениях $T_n > T_m(1 + \mu), D_n > T_m K_0$. С учётом найденных выражений для постоянных времени передаточная функция замкнутой системы по управлению примет вид:

$$\Phi_{\alpha, \alpha_{ynp}}(s) = \frac{(1 + T_m s)}{(1 + T_n s)(1 + T_m(1 + \mu)s) \left(1 + \frac{D_n}{K_0} s\right)} \quad (7)$$

Соответствующая логарифмическая амплитудная частотная характеристика построена на рис. 5. Там же пунктиром построена характеристика ручного управления телекамерой без маховичного гиродемпфера на основании передаточной функции, полученной из (7) при $T_m = 0$.

Сравнивая характеристики на рис. 4 и 5, получаем естественный вывод о том, что при установке маховичного

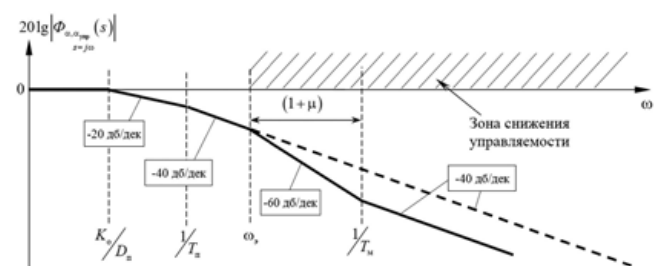


Рис. 5. Типовая спрямленная логарифмическая частотная характеристика телекамеры с маховичным гиродемпфером по управлению

гиродемпфера управляемость телекамерой снижается, причём зоны снижения управляемости и подавления внешних колебаний совпадают.

В настоящее время в репортажных (прежде всего, спортивных) съёмках применяются стабилизаторы телекамер на различных носителях (операторские краны, рельсы, канаты) и устройства типа Stedicam. В первом случае при хорошем уровне угловой стабилизации телекамеры всё устройство оказывается недостаточно мобильным, поскольку место съёмки определяется параметрами носителя. Во втором случае обеспечивается хорошая линейная и совершенно недостаточная угловая стабилизация, поэтому применяется только для съёмок с близкого расстояния. Кроме того, он очень неудобен и маломобилен из-за больших габаритов и веса.

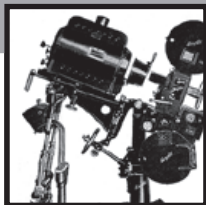
Предложенный маховичный гиродемпфер может найти своё применение в этих съёмках, обладая достаточной мобильностью и приемлемой точностью угловой стабилизации при съёмке разноудалённых объектов. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов В.В., Кулешов А.В., Фатеев В.В. Гироскопические стабилизаторы съёмочной аппаратуры. Опыт разработки / Авиакосмическое приборостроение. 2013. № 12. С. 27–42.
2. Гироскопическое устройство для биноклей. — «За рубежом». 1969. № 2. С. 29.
3. Пат. 2811042 США, МПК G01C21/18. Stabilizer for sighting devices / T.W. Kenyon (США). Kenyon Lab Inc (США). — Заяв. 02.04.54; Опубл. 29.10.57.
4. Пат. 3006197 США, МПК G02B27/644. Stabilizing instrument / T.W. Kenyon, E.H. Pallme (США). Kenyon Lab Inc (США). — Заяв. 18.01.60; Опубл. 31.10.61.
5. Стабилизированная фотокамера. — «Электроника». 1965. Т. 38. № 19. С. 40–41.
6. Кульчицкий Н.Л. Применение гироскопов в киносъёмочной технике. «Техника кино и телевидения. 1965. № 2. С. 61–63.
7. Козлов В.В., Меламед Ю.И., Фатеев В.В. Двухосный управляемый гиродемпфер / Труды НИКФИ. 1977. Вып. 86.
8. Козлов В.В., Рыбаков В.И., Фатеев В.В. Двухосный гиродемпфер ручной кинокамеры / Машины, приборы и стенды МВТУ, 1978.
9. Арсеньев В.Д., Фатеев В.В. Маховичный индикаторный гироскопический стабилизатор углового положения / Авиакосмическое приборостроение. 2014. № 12. С. 49...56.
10. Кулешов А.В., Фатеев В.В., Черников С.А. Маховичный индикаторный гиростабилизатор с нежёстким приводом разгрузки / Инженерный вестник. 2015. № 3. С. 510...519.
11. Кулешов А.В., Фатеев В.В., Тверская Е.С. Маховичный индикаторный гиростабилизатор с разгрузкой к маховику / Авиакосмическое приборостроение. 2016. № 3. С. 3...10.
12. Кулешов А.В., Подчерзцев В.П., Фатеев В.В., Бордачев Д.А. Двухосный индикаторный маховичный гиростабилизатор / Авиакосмическое приборостроение. 2015. № 11. С. 3...12.
13. Матвеев В.А., Подчерзцев В.П., Фатеев В.В. Гироскопические стабилизаторы на динамически настраиваемых гироскопах / Учебное пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 103 с.
14. Гироскопические системы / под ред. Д.С. Пельпора. Ч. 1. М.: Высшая школа, 1986. — 423 с.
15. Кулешов А.В., Фатеев В.В. Индикаторно-силовой гиростабилизатор с нежёстким приводом / Авиакосмическое приборостроение. 2014. № 1. С. 26–34.
16. Бабаев А.А. Стабилизация оптических приборов. Л.: Машиностроение, 1975. — 192 с.
17. Фатеев В.В., Кулешов А.В., Полинков А.В. Маховичный гиростабилизатор углового положения квадрокоптера / Авиакосмическое приборостроение. 2017. № 1. С. 11...17.

REFERENCES

1. Kozlov V.V., Kuleshov A.V., Fateev V.V. Gyroscopic stabilizers of imaging equipment. Experience of development / Aerospace Instrument-Making. 2013. № 12. p. 27–42.
2. Giroskopicheskoe ustrojstvo dlya binocley. [Gyroscopic device for binocles] — «За рубежом» [Abroad]. 1969. № 2. p. 29.
3. Pat. 2811042 USA, IPC G01C21/18. Stabilizer for sighting devices / T.W. Kenyon (США). Kenyon Lab Inc (США). — Appl. 02.04.54; Publ. 29.10.57.
4. Pat. 3006197 USA IPC G02B27/644. Stabilizing instrument / T.W. Kenyon, E.H. Pallme (США). Kenyon Lab Inc (США). — Appl. 18.01.60; Publ. 31.10.61.
5. Stabilizirovannaya camera. [Stabilized camera.] — «Elektronika» [Electronica]. 1965. т. 38. № 19. p. 40–41.
6. Kulchitskiy N.L. The use of gyroscopes in filming technique. [Primenenie gyroskopov v kinosemochnoy tekhnike] — «Tehnika kino i televideniya» [The technique of film and television]. 1965. № 2. p. 61–63.
7. Kozlov V.V., Melamed Yu.I., Fateev V.V. Dvukhosnyy upravlyаемyy girodempfer [Two-axle driven girodempferov]. Trudy NIKFI [Proceedings NIKFI]. 1977. Vol. 86.
8. Kozlov V.V., Rybakov V.I., Fateev V.V. Dvukhosnyy girodempfer ruchnoy kinokamery [Biaxial girodempferov manual cameras]. Mashiny, pribory i stendy MVTU [Machines, tools and stands Bauman]. 1978.
9. Arseniev V.D., Fateev V.V. Makhovichnyy indikatornyy groskopicheskiy stabilizator ugloвого polozheniya [Flywheel indicator gyrostabilizer of angular position]. Aviakosmicheskoe priborostroenie [Aerospace Instrument-making]. 2014. № 12. P. 49...56.
10. Kuleshov A.V., Fateev V.V., Chernikov S.A. Makhovichnyy indikatornyy girostabilizator s nezhestkim privodom razgruzki [Flywheel indicator gyrostabilizer with nonrigid unloading drive]. Inzhenernyy vestnyk [Engineering bulletin]. 2015. № 3. P. 510...519.
11. Kuleshov A.V., Fateev V.V., Tverskaya E.S. Makhovichnyy indikatornyy girostabilizator s razgruzkoy k makhoviku [Flywheel indicator gyrostabilizer with unloading to a flywheel] / Aviakosmicheskoe priborostroenie [Aerospace Instrument-making] 2016. № 3. С. 3...10.
12. Kuleshov A.V., Podchertsev V.P., Fateev V.V., Bordachev D.A. Dvukhosnyy indikatornyy Makhovichnyy girostabilizator [Biaxial indicator flywheel gyrostabilizer] / Aviakosmicheskoe priborostroenie [Aerospace Instrument-making] 2015. № 11. С. 3...12.
13. Matveev V.A., Podchertsev V.P., Fateev V.V. Giroskopicheskie stabilizatory na dinamicheski nastroivaemykh groskopah [Gyroscopic stabilizer on the dynamically turned gyros]. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана [Moscow: Bauman Moscow State Technical University], 2005. 103 p.
14. Giroskopicheskie sistemy / pod. red. D.S. Pelpor 1 ch. [Gyroscopic system: 1 p.]. М.: «Vysshaya shkola» [Moscow: Publishing House «High School»], 1986. 423 p.
15. Kuleshov A.V., Fateev V.V. Indikatorno-silovoy girostabilizator s negestkim privodom [Indicator-powered gyrostabilizer with nonrigid drive] / Aviakosmicheskoe priborostroenie [Aerospace Instrument-making] 2014. № 1. P. 26–34.
16. Babaev A.A. Stabilizatsiya opticheskikh priborov [Stabilization of the optical devices]. — L.: Mashinostroenie [Leningrad: Publishing House «Mechanical engineering»], 1975. — 192 p.
17. Fateev V.V., Kuleshov A.V., Polynkov A.V. Makhovichnyy girostabilizator ugloвого pologeniya kvadrokoptera [The flywheel gyrostabilizer of the quadcopter angular position] / Aviakosmicheskoe priborostroenie [Aerospace Instrument-making] 2017. № 1. С. 11...17.



ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ, СПОСОБЫ ДЕМОСТРАЦИИ И СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ОБЪЁМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ



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

Аннотация

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

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

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

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

Abstract

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

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

Продолжение, часть 2 (начало в МТК № 2017-1(11))

■ 2. Объёмные изображения с воксельной структурой

Воксельные, или волюметрические (*volumetric display*) устройства воспроизводят изображение в виде набора

точек (вокселей), размещённых в заданном реальном физическом трёхмерном пространстве, и являются разновидностью более общей группы «3D-дисплеев» (*3D displays*). В русскоязычных информационных источниках оба термина – и «*3D display*», и «*volumetric display*» ча-

сто переводят одинаково – как «объёмный дисплей», не делая между ними различия, что не вполне корректно и вносит определённую путаницу. Все рассматриваемые в данном разделе устройства относятся именно к категории объёмных волюметрических дисплеев с изображением, сформированным воксельной структурой.

Принцип получения изображения такой же, как и для плоского изображения, состоящего из пикселей, но воксели являются элементами объёмного изображения и размещены по всему объёму, в котором демонстрируется трёхмерное объёмное изображение. Изображение создаётся массивом вокселей, равномерно размещённых в реальном физическом объёме, и наблюдается зрителем двумя глазами в пространстве так же, как реальный объёмный объект. Каждый воксель имеет свои координаты в наблюдаемом пространстве воспроизведения изображения и излучает (или отражает, или рассеивает) свет от внешнего источника с управляемой яркостью и цветностью, при этом воксели, не участвующие в создаваемом изображении, не должны быть заметны зрителю.

Достоинствами воксельных волюметрических устройств является создание реально объёмного изображения с возможностью его оглядывания с разных сторон и обеспечение естественной связи и согласованности аккомодации и конвергенции при наблюдении изображения. К существенным недостаткам следует отнести возможность создания изображения только внутри устройства. Поэтому размеры отображаемых объектов и сцен определяются и ограничиваются размерами самого устройства и не могут быть больше его габаритов, а заполненность пространства, в котором воспроизводится изображение массивом вокселей или конструктивными элементами, делает невозможным размещение и нахождение в нём зрителей. Некоторые ограничения связаны с особенностями технологии создания изображения массивом вокселей. Например: ближние к наблюдателю воксели не являются полностью прозрачными и могут частично перекрывать находящиеся за ними изображения. Чтобы уменьшить этот эффект, расстояние между вокселями необходимо увеличить, что ухудшает дискретизацию изображения и делает все воспроизводимые предметы частично прозрачными, что, в свою очередь, негативно влияет на качество изображения и уменьшает его реалистичность.

Существуют различные способы и технологические методы формирования воксельных изображений. Воксели могут быть активными светоизлучающими, или могут только отражать, или рассеивать свет от источника внешнего излучения. Устройство может содержать движущиеся элементы конструкции, формирующие изображение, и т.д. В соответствии со значительным разнообразием данного класса устройств существуют и различные подходы к их описанию и классификации [17,18,19,20].

Наиболее распространённым является инженерный подход, при котором основополагающим является принцип технического устройства прибора и наличие, например, в конструкции механических движу-

щихся элементов, обеспечивающих развёртку изображения. Вследствие такого подхода в одной подгруппе устройств «*static volume techniques*» одновременно оказываются лазерные устройства, в которых изображение формируется последовательным сканированием всего воксельного массива одной точкой с неизбежным в этом случае мерцанием изображения, вызывающим у наблюдателя дискомфорт, и устройства с трёхмерной матрицей фиксированных в пространстве вокселей, в которых изображение формируется всеми вокселями одновременно.

Представляется целесообразным рассмотреть характеристики устройств и особенности формируемого объёмного изображения с точки зрения восприятия этого изображения. Далее предлагается классификация волюметрических воксельных устройств на основе принципа формирования воксельного изображения и его восприятия зрителем в соответствии с технологией создания воксельной структуры демонстрируемого изображения.

Массив вокселей в пространстве может быть сформирован для зрителя тремя разными способами:

- в каждой точке воксельного массива (с определённым шагом квантования, определяющим разрешение изображения) рабочего пространства, в котором может демонстрироваться изображение, постоянно находится свой, закреплённый только в этой точке, физический воксель, который должен быть максимально незаметен для зрителя в выключенном состоянии и излучать (или отражать/рассеивать) свет определённой яркости и цвета в случае его участия в формируемом изображении при демонстрации;

- используя инерционность зрительного аппарата человека, можно создать наблюдаемую трёхмерную объёмную воксельную структуру методом её последовательного циклического сканирования (или развёртки) геометрической фигурой меньшей мерности – точкой, линейным массивом или поверхностью (содержащими активные воксели) – таким образом, что за время каждого кадра движущиеся (сканирующие) активные воксели пройдут через все положения точек трёхмерного воксельного массива, и в процессе этого движения в каждом новом положении, соответствующем положению нового вокселя сканируемого массива, яркость и цветность излучения должны изменяться на соответствующую этому положению величину;

- изображение может создаваться методом физического перемещения вокселей в рабочем пространстве, воссоздавая поверхности демонстрируемых объектов с изменением их конфигурации для каждого нового кадра.

2.1. Устройства с трёхмерным массивом жёстко зафиксированных в пространстве вокселей

В этом типе устройств воксели равномерно распределены по всему объёму, неподвижны и жёстко зафиксированы в пространстве в виде трёхмерной матрицы. Массив вокселей может быть сформирован в виде параллелепипеда, цилиндра, сферы или иметь другую форму (рис. 16).

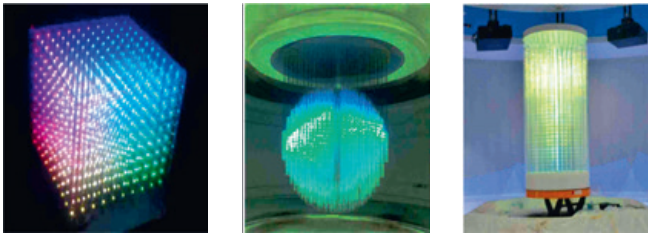


Рис. 16. Различные формы дисплеев с фиксированной в пространстве воксельной структурой

В процессе воспроизведения изображения все воксели, задействованные в формировании изображения, одновременно включены, образуя наблюдаемый объект. Яркость и цвет каждого вокселя регулируются в соответствии с демонстрируемым изображением. Воксели могут быть светоизлучающими или могут быть выполнены в виде светоотражающих или светорассеивающих элементов, работающих от внешних источников света. В первых прототипах воксели были выполнены из светорассеивающих шариков, свет к которым подводился оптоволоком от оптического модулятора. В настоящее время массивы вокселей изготавливают на основе цветных светодиодов. В частности, китайская фирма Jiangmen Seekway Technology Ltd выпускает целую линейку таких устройств [21] с размерами от нескольких сантиметров до 15 и более метров. Светодиоды обладают высоким быстродействием и широкой цветовой палитрой, позволяя демонстрировать разнообразное движущееся объёмное изображение (рис. 17) с частотой 30 кадров в секунду.

Однако низкая пространственная плотность воксельной структуры не позволяет получать качественное изображение (рис. 18), дискретность хорошо заметна как на статичных, так и на быстро движущихся планах, и для данного типа устройств, к сожалению, это является неустранимым недостатком.

В США в Колумбийском университете разработан дисплей [22], в котором в качестве воксельной структуры используется прозрачное стекло, внутри которого сфокусированным лазерным лучом выжжены микроточки, из которых сформирована определённая упорядоченная объёмная структура из светорассеивающих точек. Эти точки освещаются светом от цифрового проектора таким образом, что возможно контролируемое управление освещением (изменение яркости и цвета) для каждой из них (рис. 19). Размер воксельного массива в созданном прототипе $200 \times 200 \times 70$ мм, и в нём для воспроизведения объёмных объектов задействовано $25 \times 25 \times 16 = 10\,000$ вокселей, в качестве светового модулятора применяется DMD чип цифрового проектора с разрешением 1024×768 пикселей.

Рассмотренные устройства с трёхмерным массивом жёстко зафиксированных в пространстве вокселей не могут создавать высококачественное изображение, но они обладают высокой яркостью, вследствие отсутствия движущихся механических элементов долговечны, их можно рассматривать со всех сторон. Они могут быть практически любых размеров, поэтому основной сферой для их применения является индустрия развлечений и использование в качестве элементов оформления в рекламе, дизайне и архитектуре (рис. 20).

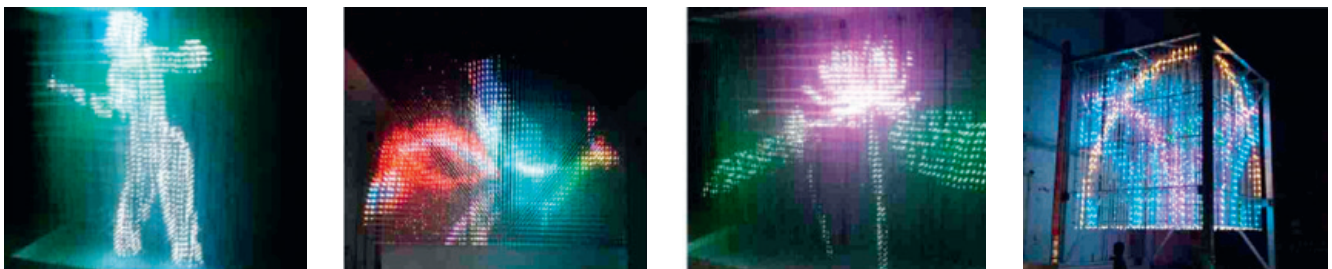


Рис. 17. Объёмное изображение на волюметрических дисплеях со светодиодными вокселями



Рис. 18. Дискретность воксельной структуры изображения

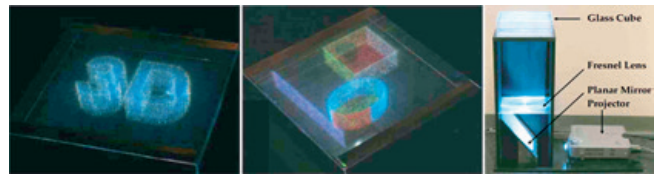


Рис. 19. Объёмные изображения и схема устройства

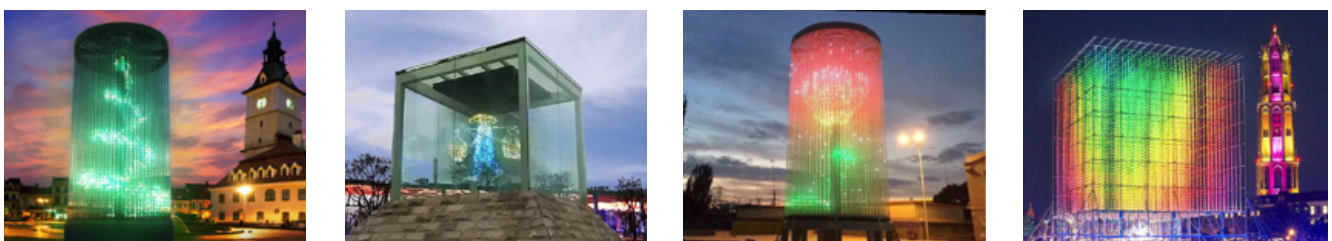


Рис. 20. Примеры архитектурного применения волюметрических устройств

2.2. Устройства с развёрткой трёхмерного массива вокселей

Для демонстрации объёмного воксельного изображения с разрешением как у стандартного телевизионного изображения требуется более двух миллиардов вокселей, на каждый из которых необходимо подавать информацию о яркости и цветности. Чтобы уменьшить поток данных, можно применить способ пространственно-временной развёртки и передавать и воспроизводить изображение последовательно во времени по частям сканирующим геометрическим элементом развёртки по определённому периодическому закону. Весь объём пространства, в котором демонстрируется изображение, равномерно разбит на воксели - точнее, на пустые места, в которых должны находиться воксели. Реальных активных физических вокселей значительно меньше, они объединены в сканирующем геометрическом элементе развёртки, перемещаясь по пространству воксельного массива, циклически проходят через все положения с «пустыми» вокселями и, занимая их, воспроизводят соответствующую яркость и цветность. Механизмы инерции зрения при условии достаточно высокой внутрикадровой частоты развёртки позволяют в определённой степени сгладить создаваемый развёрткой эффект мерцания изображения. Наиболее элементарным геометрическим элементом развёртки является точка, которая за время одного кадра должна просканировать все положения вокселей трёхмерного массива, для чего требуется очень высокая частота сканирования. При такой частоте, чтобы избежать эффекта мерцания, необходимо применять специальные меры для создания эффекта послесвечения вокселей, аналогично люминофору в электроннолучевых трубках. Более технологичным является применение в качестве элемента развёртки поверхностей с активными вокселями, частоты сканирования в этом случае существенно ниже. В качестве элементов развёртки могут применяться либо светоизлучающие движущиеся элементы, либо движущийся экран с проецируемым на него изображением. В последнем случае возможно высокое качество изображения с хорошим разрешением.

Основным и неизбежным недостатком устройств объёмного отображения с развёрткой является частичная «прозрачность» всех демонстрируемых изображений.

2.2.1. Устройства с развёрткой точкой

Для точечной развёртки трёхмерного изображения применяются два метода: сканирование двухкоординатной системой развёртки световой точкой на движущемся экране, обеспечивающим развёртку по третьей координате, и сканирование трёхкоординат-

ной системой развёртки точкой, образованной лазерным излучением в объёмной среде с люминофором.

Сканирование световой точки на движущемся экране

Разработано несколько систем, использующих для развёртки изображения разные типы движущихся экранов:

- плоский вращающийся,
- криволинейная вращающаяся поверхность,
- плоский с возвратно-поступательным движением.

Исторически первым в 1962 году был создан «Трёхмерный дисплей с электронно-лучевой трубкой» (рис. 21) с плоским вращающимся экраном в виде фосфорного диска (Патент США 3140415). Вращающиеся спиралевидные поверхности, по сравнению с вращающейся плоскостью, позволяют добиваться лучших условий для наблюдения изображения, и получили широкое распространение в трёхмерных дисплеях. Экран в виде вращающейся спирали для развёртки лазерного луча применяется, например, в немецкой установке FELIX 3D Display (рис. 22), экран которой выполнен из полупрозрачного материала и вращается с частотой 20 Гц, лучи

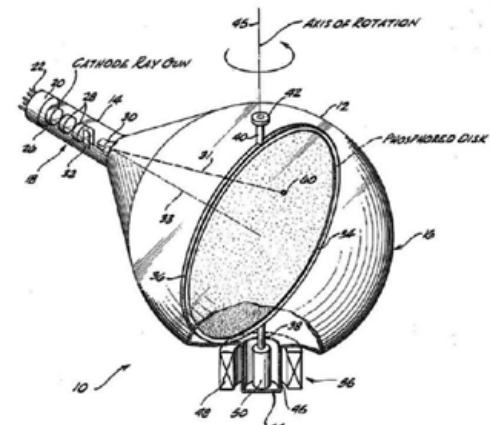


Рис. 21. Патент Р.Д. Кетспеля (1962 г.) на «Трёхмерный дисплей с электронно-лучевой трубкой», в которой плавно вращающийся фосфорный диск освещается электронной пушкой (Патент США 3140415)

Fig. 21. R.D. Ketchpel (1962). Patent for a "Three-Dimensional Display Cathode Ray Tube", in which a cathode ray gun illuminates a swiftly rotating phosphorplate (US patent 3140415)

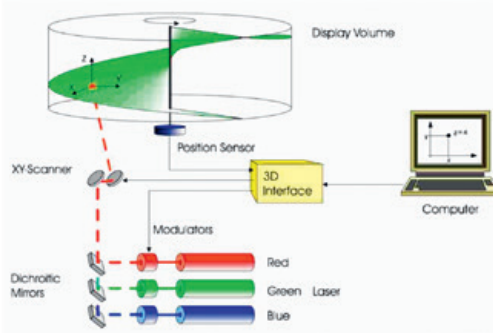


Рис. 22. Лазерная развёртка на спиральном экране в установке FELIX 3D Display

трёх цветных твёрдотельных лазеров сканируют вращающуюся поверхность, формируя в пространстве 10 000 вокселей. Первые эксперименты с созданием объёмного изображения с применением развёртки на экране, совершающем возвратно-поступательное движение, проводились ещё на основе электронно-лучевой трубки, сейчас применяют лазерные технологии. Пятно от лазерного излучения сканируется по быстро вибрирующему в направлении, перпендикулярном к его плоскости светорассеивающему экрану. Такие устройства с применением лазеров и цветным объёмным изображением делает фирма Voxon Photonics (рис. 23). К сожалению, необходимость механически движущегося с большой частотой и амплитудой экрана не позволяет создавать изображение большого размера.

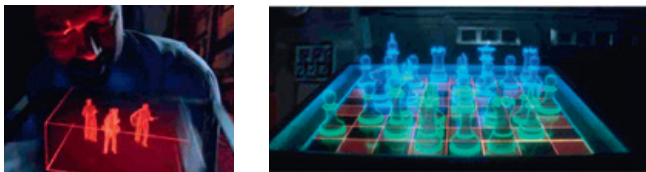


Рис. 23. Объёмный дисплей Voxon Photonics с лазерной развёрткой на плоском экране

Сканирование точки, образованной лазерным излучением в объёме с люминофором

Фотолюминофоры обладают свойством преобразовывать энергию внешнего воздействия в видимое световое излучение, при этом свечение возникает только в том случае, если энергия внешнего воздействия превысит некоторую пороговую величину. Для создания трёхмерного изображения необходимо в локальной точке объёма, заполненного люминофором, сконцентрировать энергию активирующего воздействия выше порогового значения, в результате чего получится светящаяся точка, и затем обеспечить перемещение этой точки по всему объёму. Вещество люминофора должно быть прозрачным для активирующего излучения и для излучаемого им света. Известны фотолюминофоры во всех основных агрегатных состояниях вещества: *твёрдое тело, жидкость, газ*. Получить светящуюся в люминофоре точку можно пересечением в одной точке нескольких лазерных лучей с энергией каждого из них, ниже порогового значения люминесценции, или сфокусировав в этой точке широкий лазерный пучок, добившись необходимой концентрации энергии в точке фокуса (рис. 24). Таким образом,

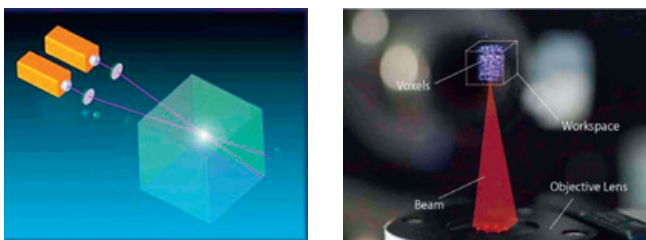


Рис. 24. Способы создания трёхмерного изображения в объёме с люминофором

можно использовать лазеры с невидимым для человека спектром излучения, и быстро перемещая сканирующей системой светящуюся в фотолюминофоре точку, формировать объёмное изображение.

При определённых условиях окружающий нас атмосферный воздух также может обладать свойствами люминофора. В Японии национальный институт AIST и компания Burton Inc разрабатывает систему с инфракрасными импульсными лазерами, работающую в обычном окружающем нас воздухе (рис. 25), разрешение изображения пока не велико, но работы в этом направлении продолжаются.

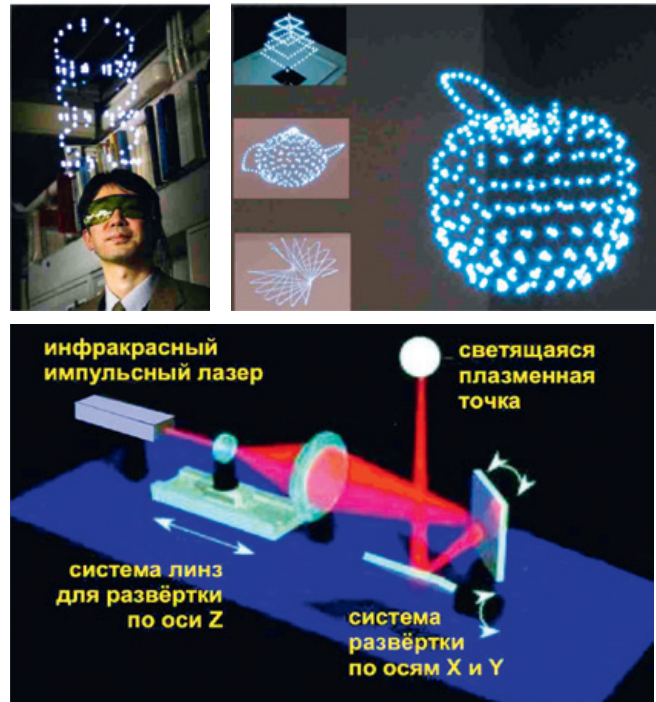


Рис. 25. Объёмные изображения системы Aerial Burton и схема устройства

2.2.2. Устройства с развёрткой поверхности

Разработано несколько систем, использующих для развёртки изображения разные типы и формы сканируемых геометрических элементов развёртки. Сканирующие элементы развёртки могут быть светоизлучающими или могут быть выполнены в виде просветных или отражающих экранов с проецируемыми на них плоскими элементами изображения, а также они могут иметь различную пространственную форму. Развёртка может осуществляться физическим перемещением сканирующего элемента в пространстве воспроизведения изображения электромеханическим приводом, или может осуществляться за счёт изменения оптических свойств среды внутри этого пространства, или выполняться оптическим путём за счёт применения оптических элементов с переменными характеристиками. По сравнению с устройствами с развёрткой точкой являются устройствами более высокого уровня и обеспечивают возможность создания более качественного изображения. По геометрической

форме сканирующих элементов и необходимой для этой формы соответствующей предварительной обработке и кодированию сигнала изображения устройства подразделяются на три группы:

- с плоским вращающимся элементом развёртки,
- с криволинейной вращающейся поверхностью,
- с плоским элементом развёртки с возвратно-поступательным движением.

Развёртка с плоским вращающимся элементом

Достаточно технологичным для образования воксельного массива является применение в движущихся элементах развёртки светоизлучающих светодиодов. Устройство с вращающейся самосветящейся плоскостью на основе светодиодов было реализовано и запатентовано (патент США 4160973) Эдвином Берлином в 1979 году (рис. 26). Размеры светодиодов не позволяют получить высокое разрешение изображения, жидкокристаллическая панель обладает значительно более высоким разрешением.

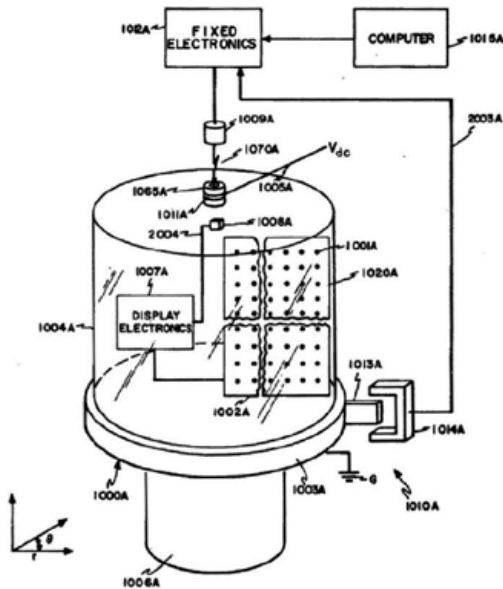


Рис. 26. Дисплей, воспроизводящий объёмные изображения вращающейся панелью со светодиодами (Патент США 4160973)

Швейцарский художник Бенджамин Муззин (Benjamin Muzzin) использовал для своей кинетической инсталляции две вращающиеся плоские ЖК видеопанели, соединённые тыльными сторонами (рис. 27). К сожалению, быстродействие ЖК панелей слишком мало, и они не предназначены для таких механических нагрузок. Наиболее оптимальным технологическим решением является вращение простого плоского экрана с проецируемым на него видеоизображением. Разработано много устройств такого рода, а первые эксперименты проводились ещё с электронно-лучевыми трубками. Различия и модификации предлагаемых устройств в основном связаны с решением задачи обеспечения непрерывной проекции изображения на движущемся экране и предполагают различные вариации оптической схемы.

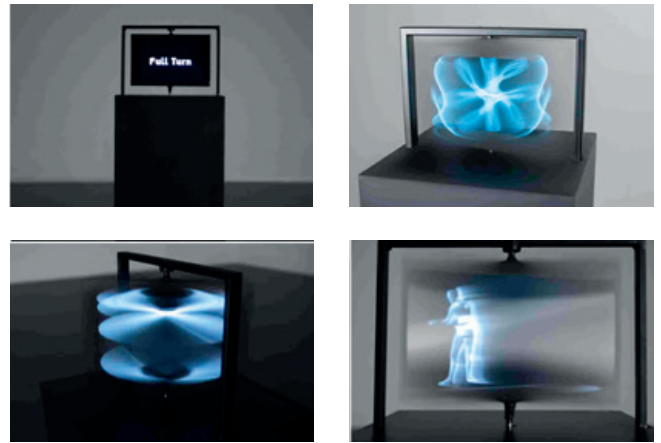


Рис. 27. Вращающийся двойной видеодисплей в художественной инсталляции Бенджамина Муззина

Наибольшую известность получило устройство Perspecta компании Actuality Systems, выпускающееся с 2003 года серийно на коммерческой основе по цене 40 000 \$ [23]. Устройство размещено внутри прозрачного купола диаметром 500 мм и формирует изображение диаметром 250 мм, которое можно наблюдать через купол со всех сторон. Изображение формируется на экране, вращающемся вместе с системой зеркал с частотой 24 Гц, тремя неподвижными DMDs (Digital Micromirror Device) светомодуляторами. Объемное изображение формируется из 198 плоских изображений с разрешением 768×768 пикселей в каждом, и в результате демонстрируется трёхмерное изображение с частотой 24 кадра в секунду, состоящее из почти 117 миллионов вокселей (рис. 28).



Рис. 28. Объемный дисплей Voxon Photonics с проекционной развёрткой на плоском экране

Развёртка с вращающейся криволинейной поверхностью

При использовании криволинейных поверхностей проекционные методы малоприменимы, так как трудно сфокусировать изображение по всей площади и глубине вращающейся поверхности экрана из-за изменения дистанции до объектива проектора при его вращении. Поэтому предпочтительно использовать светоизлучающие элементы развёртки. Наиболее простым вариантом является применение массива дискретных линейных элементов (например, линеек, состоящих из светодиодов), которые могут устанавливаться перпендикулярно оси вращения со смещением по высоте (рис. 29) или параллельно оси на разном удалении от неё. Если провести

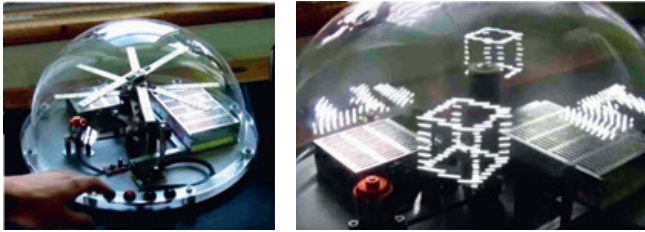


Рис. 29. Объёмный дисплей с развёрткой, состоящей из дискретных линейных элементов со светодиодами

через эти линейки поверхность, то становится понятно, что такое расположение дискретных элементов фактически эквивалентно варианту со сплошной поверхностью с сильно прореженными светоизлучающими элементами. При такой организации элементов развёртки изображение будет невысокого качества с заметной дискретной структурой, поэтому лучше применять сплошные поверхности с большим числом светоизлучающих пикселей (рис. 30).

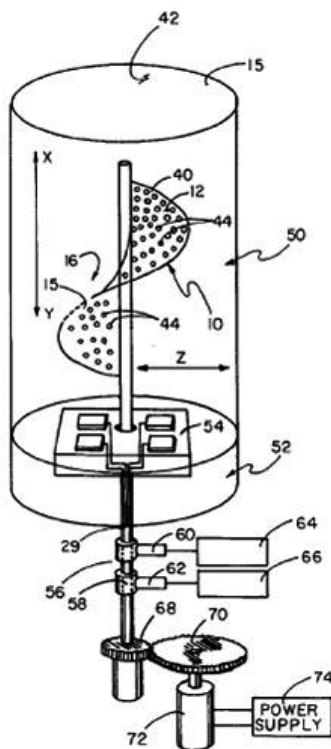


Рис. 30. Вращающееся устройство отображения и способ создания трёхмерного реального изображения (Патент США 6115006, Brotz Gregory R, 2000)

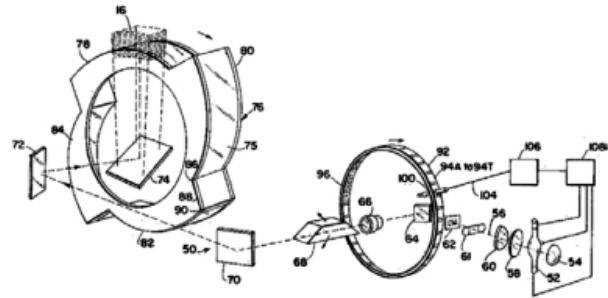


Рис. 31. Синталайзер - проекция на вращающуюся спираль Архимеда (Патент США 3428393, R.L. de Montebello, 1969)

Помимо винтовой спирали, получившей наибольшее распространение, могут применяться и другие формы поверхностей. Для получения объёмного изображения в 1969 году изобретатель Монтебелло предлагает прожекторный экран в виде вращающегося полупрозрачного барабана. Изображения проецируются на вращающийся полупрозрачный барабан, который состоит из элементов в форме спирали Архимеда (рис. 31). ■

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

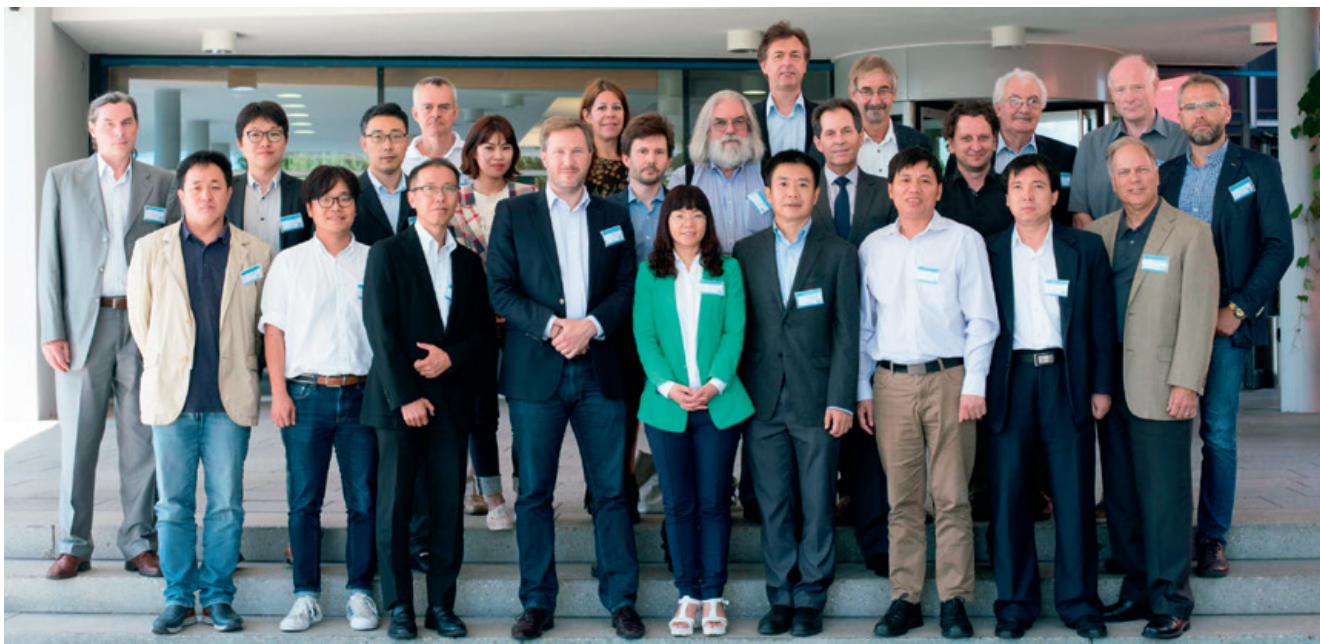
17. B.G. Blundell. 3D Displays and Spatial Interaction: Exploring the Science, Art, Evolution, and Use of 3D Technologies, Volume I: From Perception to Technologies (408 pages), ISBN 9780473177003, Walker & Wood Limited (2011).
18. K. Langhans, D. Bahr, D. Bezcny, D. Homann, K. Oltmann, K. Oltmann, C.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



24 ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО КОМИТЕТА «КИНЕМАТОГРАФИЯ» Международной организации по стандартизации (ИСО/ТК 36)



В.А. Сычѳв, ssytchov@mail.ru, к.т.н., секретарь Учѳного совета,
Д.Г. Чекалин, chekalinnikfi@mail.ru, заведующий лабораторией,
филиал «Научно-исследовательский кинофотоинститут»
АО ТПО «Киностудия им. М. Горького», РФ



■ В начале августа этого года в городе Эрланген (Германия) прошло очередное 24 Пленарное заседание технического комитета «Кинематография» (ТК 36) Международной организации по стандартизации (ИСО).

Технический комитет № 36 «Кинематография» работает с момента основания ИСО – с 1947 года, и в настоящее время в нём представлены 11 стран в качестве полноправных членов международного технического комитета с правом голосования (P-member) и 15 стран

в качестве наблюдателей (O-member). Полноправные члены участвуют в работе ТК и голосуют по всем вопросам в рамках работы комитета, а также обладают правом принятия международных стандартов на национальном уровне (для России это ГОСТ-Р/ИСО) и официального распространения профильных стандартов ИСО.

Секретариат комитета сейчас ведѳт Американский национальный институт стандартов (American National Standards Institute – ANSI), США. Секретарѳм комитета

является Говард Люкк (SMPTE), а председатель комитета (до конца 2017 года) – англичанин Джулиан Пинн.

Существующий фонд стандартов, находящихся под прямой ответственностью ТК 36 на данный момент, составляет 118 опубликованных действующих стандартов ИСО, состав которых должен постоянно обновляться и актуализироваться, а все принятые стандарты пересматриваются с интервалом в 5 лет.

24 Пленарное заседание проводилось 8–9 августа в научно-исследовательском Институте интегральных схем общества Фраунгофера (Fraunhofer Institute for Integrated Circuits IIS). В работе Пленума приняли участие национальные делегации Великобритании, Германии, Китая, Республики Корея, Польши, России, США, Франции, Японии.

Россия в международном техническом комитете ИСО 36 «Кинематография» является полноправным членом с правом голосования (P-member). Национальный орган РФ по стандартизации на пленуме при финансовой поддержке Министерства культуры РФ представлял НИКФИ – Филиал «Научно-исследовательский кинофотоинститут» АО ТПО «Киностудия им. М. Горького», являющийся уполномоченной организацией, на базе которой создан национальный комитет «Кинематография» (ТК №15) и работает его секретариат. Российская делегация участвовала в работе четырёх из пяти последних пленарных заседаний международного технического комитета, а 21 Пленарное заседание в 2010 году проводилось в Москве.

В ходе двухдневной работы Пленума были заслушаны отчёты о проведённой работе секретаря комитета и руководителей рабочих групп, был представлен новый бизнес-план комитета, рассматривались процедурные и организационные вопросы, связанные с работой комитета. Далее работа заседания традиционно проводилась последовательно по четырём рабочим группам в соответствии с их профильной тематикой:

РГ 1 Техника и технология фильмопроизводства (Production technology);

РГ 2 Техника и технология обработки и тиражирования фильмовых материалов (Laboratory and distribution services technology);

РГ 3 Техника и технология записи и воспроизведения звука (Audio technology);

РГ 4 Техника и технология кинопоказа (Presentation technology).

Участники пленума обсудили взаимодействие и совместную работу с другими комитетами и международными организациями (CIE, ITU, SMPTE), провели плановый пересмотр и приняли новые стандарты, обсудили вопросы и приняли решения, связанные с внесением изменений в существующие стандарты и работами над новыми проектами. Всего было рассмотрено более 80 стандартов. Российская делегация (В.А. Сычёв, Д.Г. Чекалин) активно участвовала в работе 24 Пленума – при обсуждении и голосовании членами делегации были предложены поправки и предложения и внесены замечания, часть из которых была учтена в рабочем порядке, а по другим требуется проведение дополнительной работы.

На пленуме были представлены презентации новых разработок. Делегация Республики Корея представила к рассмотрению новую трёхэкранную цифровую систему кинодемонстрации ScreenX, в которой применяется полиэкранная проекция с двумя дополнительными экранами, расположенными на боковых стенах зрительного кинозала. Данная система запатентована, получила распространение в азиатском регионе и насчитывает более 100 установок, в основном, в Корее и Китае. Делегация Китая представила к рассмотрению свой национальный стандарт для стереоскопического кинопоказа: «Технические требования и методы измерения для цифровой стереоскопической кинопроекции» (Technical Requirements and Methods of Measurement for Digital Cinema Stereoscopic Projection). Германия предложила в качестве новой темы для разработки проекта международного стандарта свой национальный, принятый в этом году стандарт «Цифровой кинематограф – Проекция изображения – Часть 1: Геометрические размеры изображения и допуски» (Digital cinema – Image Projection – Part 1: Image geometries and their tolerances. DIN 15584-1-2017), по результатам презентации принято решение о целесообразности разработки в 2018 году нового рабочего проекта (WD): «Спецификация геометрических размеров изображения при цифровой проекции».

По итогам работы 24 Пленарного заседания технического комитета «Кинематография» была подготовлена итоговая резолюция из 19 пунктов, в которой зафиксированы основные результаты работы пленума и определены планы и задачи для последующей работы технического комитета и его рабочих групп. Проведение очередного 25 Пленарного заседания намечено на 2019 год. ■



24 Пленарное заседание технического комитета «Кинематография» (ТК 36) Международной организации по стандартизации (ИСО)



СПЕКТРАЛЬНАЯ И ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКИ ШУМА



Ю.А. Индлин, 7654081@mail.ru, к.т.н., филиал «НИКФИ»
АО «ТПО «Киностудия им. М.Горького», РФ

Аннотация

Уровни шума принято оценивать спектрально (кривые NR, NC) и интегрально (дБА). Связь спектральной и интегральной оценок устанавливается стандартами в виде числа Δ , которое прибавляется к индексу при спектральных кривых для получения интегральной оценки. В наших стандартах $\Delta = 5$ дБ. Расчёты показали, что действительное различие между индексом при NR и интегральной оценкой в дБА существенно больше принятой величины (5 дБ), особенно при низких уровнях шума. Это может привести к неоднозначной оценке шумовой обстановки в помещениях прослушивания.

Ключевые слова: Уровень шума, спектральная оценка, интегральная оценка, стандарты.

■ Уровень шума – важнейшая характеристика помещения, в котором прослушивается звук. Не менее важен этот параметр и в создании комфортной акустической обстановки в жилом помещении и на рабочем месте.

Шум принято оценивать спектрально и интегрально.

Наиболее распространённые спектральные характеристики: кривые NC (преимущественно, в Америке) и кривые NR (преимущественно, в Европе). В РФ приняты кривые NR (рис. 1).

Например, требование к шуму в зале кинотеатра NR30 означает, что спектр шума в зале должен быть ограничен

SPECTRAL AND INTEGRAL ASSESSMENT OF NOISE

Yu. Indlin, Ph.D, branch «Cinema and photo research institute»
JSC «Gorky film studio», Russia

Abstract

Noise levels are taken to assess the spectrally (curves NR, NC) and integrally (dBA). The relation between the spectral and integral assessments is established by standards as a number Δ that is added to the index of the spectral curve to obtain an integral assessment. In our standards $\Delta = 5$ dB. The calculations showed that the actual difference between the index in NR and integral assessment in the dBA significantly more than the accepted value (5 dB), especially at low noise levels. This can lead to ambiguous assessment of the noise environment in the listening rooms.

Keywords: Noise level, spectral assessment, integral assessment, standards.

кривой NR30 (числовой индекс обозначения равен уровню на частоте 1000 Гц).

В качестве интегральной характеристики шума повсеместно принят уровень в дБА (уровень в дБ с использованием частотной коррекции типа А).

В нормах ряда стран, включая РФ, соотношение между спектральной и интегральной оценками устанавливается следующим образом: уровень в дБА равен индексу плюс число Δ .

В Америке и Европе $\Delta = 10$ дБ [1,2]. В РФ и некоторых других странах $\Delta = 5$ дБ [3,4]. Например, кривой NR30 в

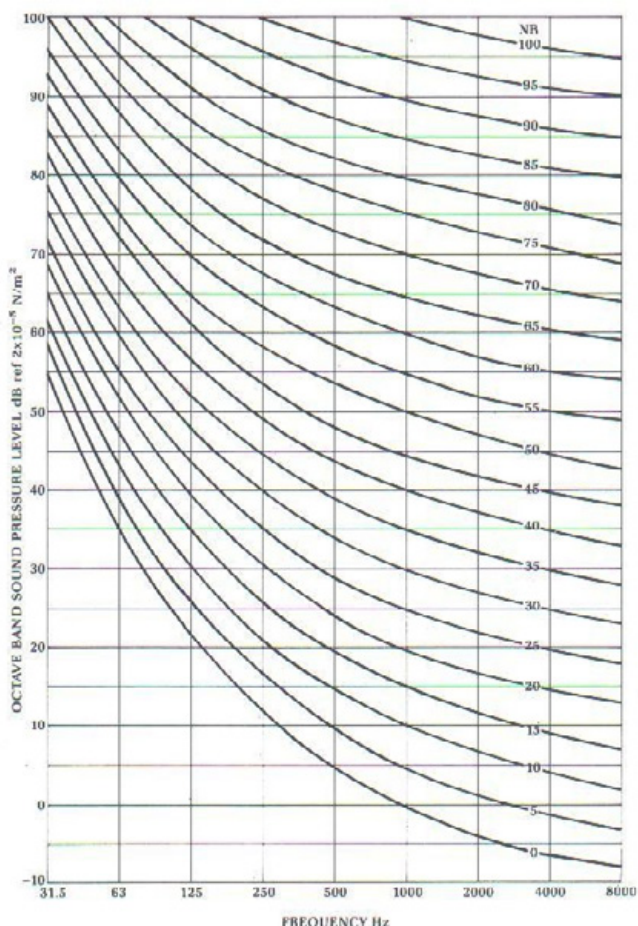


Рис. 1. Кривые NR оценки шума для октавных полос

одних странах соответствует уровень 40 дБА, в других – уровень 35 дБА. Чтобы установить действительное соотношение между спектральной и интегральной оценками шума, нужно иметь в виду следующее.

Чувствительность слуха зависит от частоты; эта зависимость описывается известными кривыми Флетчера и Мансона [5] и их современной интерпретацией в виде кривых NR. При низких уровнях звука чувствительность слуха близка к кривой А (рис. 2).

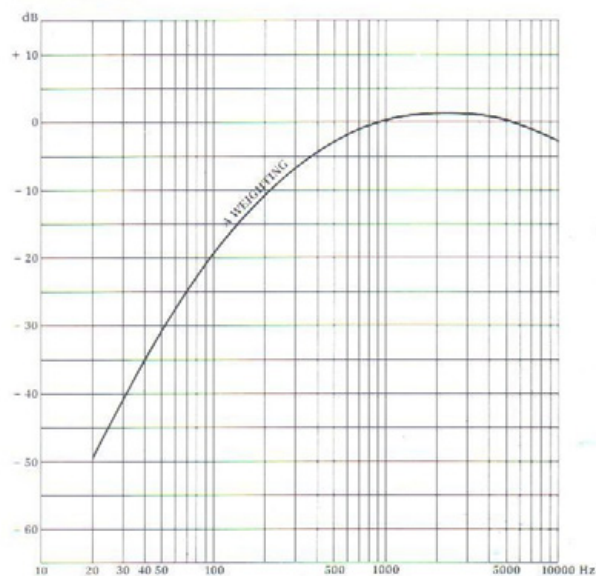
Предполагается, что уровень шума, спектр которого скорректирован с помощью кривой А, хорошо согласуется с громкостью шума, т.е. с субъективной оценкой уровня шума.

Чтобы установить точное соотношение индекса при NR и уровнем звука в дБА, нужно энергетически сложить октавные уровни NR с весами кривой А. Результаты приведены в табл. 1. В этой же таблице приведены аналогичные расчёты по кривым NC.

Видно, что для перехода от индекса к дБА нужно добавлять величину Δ, зависящую от индекса. Этому есть объяснение.

Принято считать, что кривая А соответствует чувствительности слуха (кривой равной громкости) на уровне громкости 30 фон (30 дБ на частоте 1000 Гц). Таким образом, кривая А и кривая с индексом 30 должны компенсировать одна другую, и уровни шума во всех октавах

A weighting



Frequency Hz	A Weighting dB	Frequency Hz	A Weighting dB	Frequency Hz	A Weighting dB
10	-70.4	180	-13.4	2500	+1.3
12.5	-63.4	200	-10.9	3150	+1.2
16	-56.7	250	-8.6	4000	+1.0
20	-50.5	315	-6.6	5000	+0.5
25	-44.7	400	-4.8	6300	-0.1
31.5	-39.4	500	-3.2	8000	-1.1
40	-34.6	630	-1.9	10000	-2.5
50	-30.2	800	-0.8	12500	-4.3
63	-26.2	1000	0	16000	-6.6
80	-22.5	1250	+0.6	20000	-9.3
100	-19.1	1600	+1.0		
125	-18.1	2000	+1.2		

Рис. 2. Весовая кривая А

должны уравниваться. Для NR октав всего 9. Следовательно, энергетическое сложение одинаковых уровней даст прибавку

$$\Delta_{NR} = 10 \log 9 = 9.5 \text{ дБ.}$$

Для NC октав всего 8 (спектр уже из-за отсутствия октавы 31 Гц), поэтому

$$\Delta_{NC} = 10 \log 8 = 9.0 \text{ дБ.}$$

В действительности, расчёты (табл. 1) показали, что кривой А лучше соответствует NR40 (Δ = 9,7) и NC35 (Δ = 9.2).

При более низких значениях индекса кривые шумовой оценки имеют больший подъём в области низких частот, который не компенсирует кривая А, и Δ возрастает.

При более высоких значениях индекса кривые шумовой оценки имеют меньший подъём в области низких частот. Поэтому кривая А перекомпенсирует низкочастотные уровни кривых шумовой оценки, и Δ уменьшается.

Зависимость Δ от индекса при NR из табл. 1 в графическом виде дана на рис. 3.

Из табл. 1 и рис. 3 видно, что рассчитанные значения Δ выше принятой в наших стандартах величины (Δ = 5 дБ), особенно при низких уровнях шума. Это может привести к неприятным последствиям.

Табл. 1. Результаты расчёта соотношения спектральной и интегральной оценок шума

Спектр шума	Интегральный параметр		Спектр шума	Интегральный параметр	
	дБА	Δ , дБ		дБА	Δ , дБ
NR10	25,0	15,0			
NR15	29,1	14,1	NC15	27,1	12,1
NR20	32,8	12,8	NC20	31,4	11,4
NR25	36,7	11,7	NC25	35,6	10,6
NR30	41,0	11,0	NC30	39,8	9,8
NR35	45,2	10,2	NC35	44,2	9,2
NR40	49,6	9,6	NC40	48,8	8,8
NR45	53,8	8,8	NC45	53,4	8,4
NR50	58,4	8,4	NC50	58,1	8,1
NR60	67,5	7,5	NC60	67,5	7,5
NR70	77,0	7,0	NC70	77,3	7,3
NR80	86,5	6,5			
NR100	106,1	6,1			

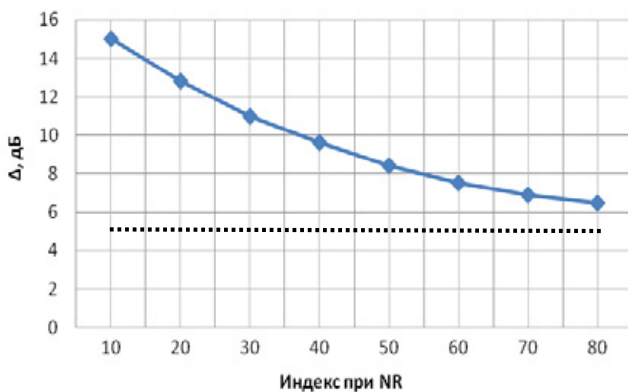


Рис. 3. Зависимость Δ от индекса при NR; пунктирная линия – Δ в наших стандартах

Например, в помещениях прослушивания Европейский Радиовещательный Союз требует, чтобы уровень шума не превышал NR10 [6]. Обычно расчёты ведутся спектрально, а измерения проводятся интегрально. Согласно нашим стандартам, интегральный уровень в этом примере не должен превышать 15 дБА ($\Delta = 5$ дБ), в то время как уровень 25 дБА ($\Delta = 15$ дБ) вполне удовлетворяет спектральной оценке NR10.

Заключение

Принятое в наших стандартах соотношение между спектральной и интегральной оценками шума существенно меньше расчётных значений. Необходима корректировка стандартов. ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Jones D. Acoustic Noise Control. Handbook for sound engineers. Third edition, 2002.
2. Audio System Designer. Klark-Teknik. 2000.
3. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (2011).
4. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Санитарные нормы: Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
5. Скучик Е. Основы акустики. Том II. Иностранная литература. Москва, 1950.
6. EBU Tech 3276. Listening conditions for the assessment of sound programme material: monophonic and two-channel stereophonic. 1998.