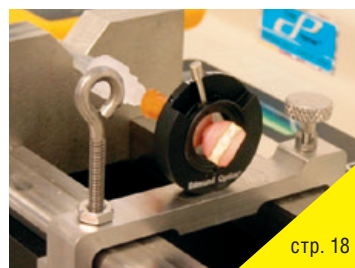
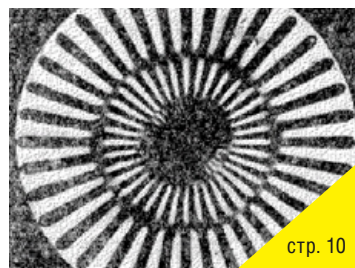
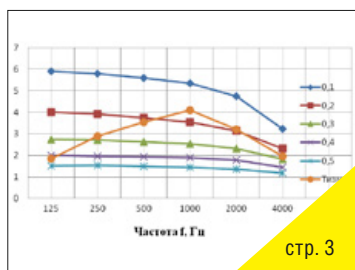


2018-4(12) СОДЕРЖАНИЕ



Технологии

Ю.А. Индлин, 7654081@mail.ru
Расчёт времени реверберации с учётом рассеяния звука при отражении **3**

О.Н. Раев, ncenter@list.ru
Оценка качества изображения при продольном смещении оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя **10**

С.Б. Бирючинский, sbiruchisky@optica4d.com
Решение изобретательских задач в оптике **18**

Стандартизация

В.А. Сычёв, ssytchov@mail.ru, Д.Г. Чекалин, chekalinnikfi@mail.ru
Технические параметры и нормативные требования к цифровой кинотеатральной демонстрации фильмов **24**

Страницы истории кино

Е.К. Абросимова, yekaterina-a@yandex.ru, Г.В. Тихомирова, kva-gukit@mail.ru
О Розовском, о кино, и не только... **35**

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

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

Электронная версия www.elibrary.ru

Подписной индекс Роспечать: № 81923

Научно-технический журнал «Мир Техники Кино»
Выходит 4 раза в год
Издатель: ООО «ИПП «КУНА»
Учредители: Филиал «НИКФИ» АО «ТПО «Кино студия им. М. Горького», ООО «ИПП «КУНА»
Руководитель проекта: Костылев Олег Юрьевич
Главный редактор: Индлин Юрий Александрович, к.т.н.
Выпускающий редактор: Захарова Тамара Владимировна
Арт-директор, оформление обложки: Шишкин Владимир Геннадьевич
Верстка и дизайн: 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

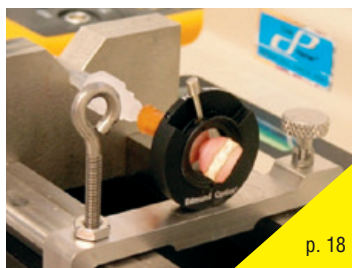
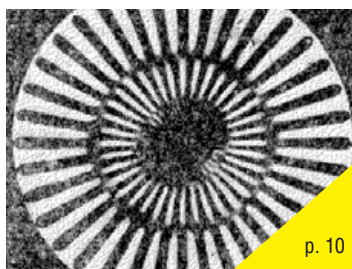
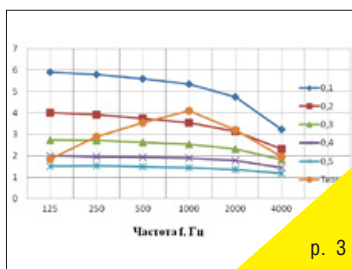
Отпечатано в ООО «ИПП «КУНА»
Объём 5 п.л. Заказ № 149750.
Тираж 999 экземпляров.

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

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

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

2018-4(12) CONTENT



Technology

Y. Indlin, 7654081@mail.ru
Calculating reverberation time taking into account scattering of reflected sound 3

O. Raev, ncenter@list.ru
Evaluation of image quality in the longitudinal shift of the lens-formed optical image compared to the photosensitive layer 10

S. Biryuchinskiy, sbiruchisky@optica4d.com
Inventive problem solving in optics 18

Standardization

V. Sychov, ssytchov@mail.ru, D. Chekalin, chekalinnikfi@mail.ru
Technical Parameters and Normative Requirements for D-cinema Theatrical Demonstration 24

Movie history

E. Abrosimova, yekaterina-a@yandex.ru, G. Tikhomirova, kva-gukit@mail.ru
About Rozovsky, about cinema, and not only ... 35

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

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

Electronic version www.elibrary.ru

Subscription index Rospechat: № 81923

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

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

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

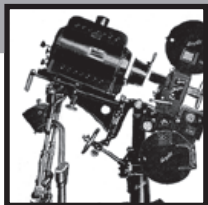
www.mtk-magazine.ru,
 e-mail: kevin@paradiz.ru,
 tel. (fax): +7 (495)795-0297,795-0299

Chairman Ph.D. Yu.Indlin

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

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

Printed in Russia.



РАСЧЁТ ВРЕМЕНИ РЕВЕРБЕРАЦИИ с учётом рассеяния звука при отражении



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

Аннотация

Акустические расчёты с помощью статистических формул (Сэбина и Эйринга) могут дать существенную ошибку в оценке времени реверберации помещения. Лучевой метод компьютерного моделирования даёт более точные результаты, в особенности при учёте рассеяния звука при отражении, что продемонстрировано в исследовании акустики павильонов с синхронной записью звука.

Ключевые слова: время реверберации, компьютерное моделирование, лучевой метод, рассеяние звука при отражении, павильоны с синхронной записью звука, формула Эйринга, формула Сэбина.

■ Расчёт времени реверберации в помещении производится по статистическим формулам Сэбина или Эйринга, иногда с упоминанием о том, что они справедливы для диффузного звукового поля. Считается, что необходимым условием диффузности звукового поля является равномерное распределение звукопоглощающего материала по внутренним поверхностям помещения и высокая степень рассеяния звука при отражении.

Выполнение этих условий, в общем случае, сомнительно, а в некоторых случаях – невозможно, как, например, в съёмочных павильонах с синхронной записью звука.

CALCULATING REVERBERATION TIME TAKING INTO ACCOUNT SCATTERING

Y. Indlin, 7654081@mail.ru, Ph.D, branch «Cinema and Photo Research Institute» JSC «Gorky film Studio», Russia

Abstract

Acoustic calculations using statistical formulas (Sabine and Eyring) can give a significant error in the estimation of the reverberation time of the room. The ray method of computer simulation gives more accurate results, especially when taking into account the scattering of reflected sound, which is demonstrated in the study of acoustics of pavilions with synchronous sound recording.

Keywords: reverberation time, computer modeling, ray-tracing method, the scattering of reflected sound, pavilions with synchronous sound recording, the equation Eyring, the equation Sabine.

В таких павильонах пол делается гладким и звукоотражающим, стены и потолок – звукопоглощающими. Поэтому говорить о равномерности распределения звукопоглотителя не приходится.

Кроме того, примыкающие к полу участки стен часто облицовываются листами гипсокартона (ГКЛ). Всё это не делает поверхности павильона хорошо рассеивающими звук.

Тем не менее, требования на время реверберации существуют (в [1] определены максимальные значения, соответствующие оптимуму для речевых помещений [2] – около 1.2 с для больших павильонов), и они должны выполняться.

Во время написания [1] время реверберации считали исключительно по упомянутым формулам. В настоящее время для построения импульсной реакции помещения и расчёта по ней времени реверберации можно пользоваться лучевым методом, имитирующим реальный акустический процесс в помещении.

Возьмём, для примера, павильон № 1 московской киностудии (длина – 49 м, ширина 38 м, площадь пола – 1860 м², высота – 11 м, объём – 20460 м³). Пол – полимерный наливной, стены от пола до отметки высоты 4 м облицованы ГКЛ, от отметки 4 м до потолка – эффективным звукопоглотителем в виде волокнистых плит, закрытых стеклотканью. Таким же звукопоглотителем облицован потолок. Упрощённая компьютерная модель павильона представлена на рис. 1 с помощью программы EASE.

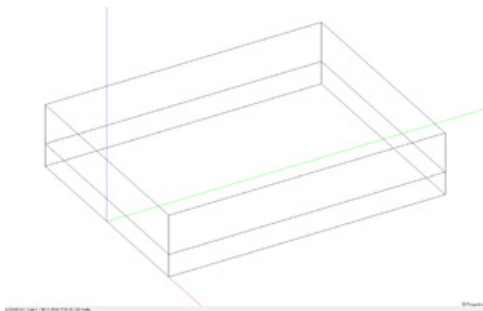


Рис. 1. Изометрия модели павильона № 1

Расчёт времени реверберации по Эйрингу (рис. 2; $T_3 = 0.7$ с на средних частотах) получен в статистическом модуле программы.

Расчёт по формуле Сэбина даёт более высокий результат ($T_c = 1.05$ с; формализация расхождения оценок T_3 и T_c дана в [3]) при том же среднем коэффициенте поглоще-

ния $\alpha_{ср}$, но обе величины меньше максимально допустимого значения для этого объёма (1.2 с).

Для расчёта лучевым методом нужно поместить в модель (рис. 3) ненаправленный источник звука (на высоту чуть выше стоящего человека) и разместить слушательскую зону (на высоту стоящего человека).

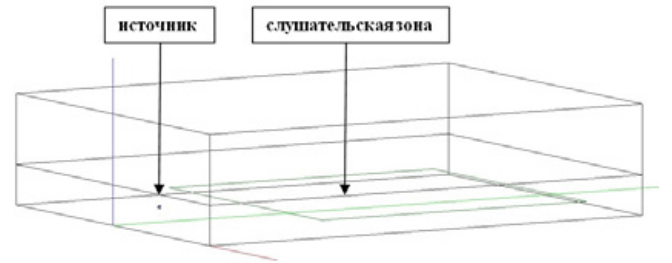


Рис. 3. Изометрия модели павильона № 1 с источником и слушательской зоной

В точках слушательской зоны лучевым модулем AURA программы EASE рассчитывалась импульсная реакция.

При лучевом методе источник одновременно излучает достаточно большое число разнонаправленных энергетических частиц, имитирующих характеристику направленности источника (обычно – шаровую). Приёмником сигналов служит сферическая поверхность небольшого радиуса (в данном программном модуле по нашим измерениям она имеет радиус около 0.5 м). Если частица проходит через приёмную сферу, то программа включает её в импульсную реакцию с соответствующим временем задержки относительно момента излучения звука источником.

Импульсная реакция в одной из точек слушательской зоны дана на рис. 4.

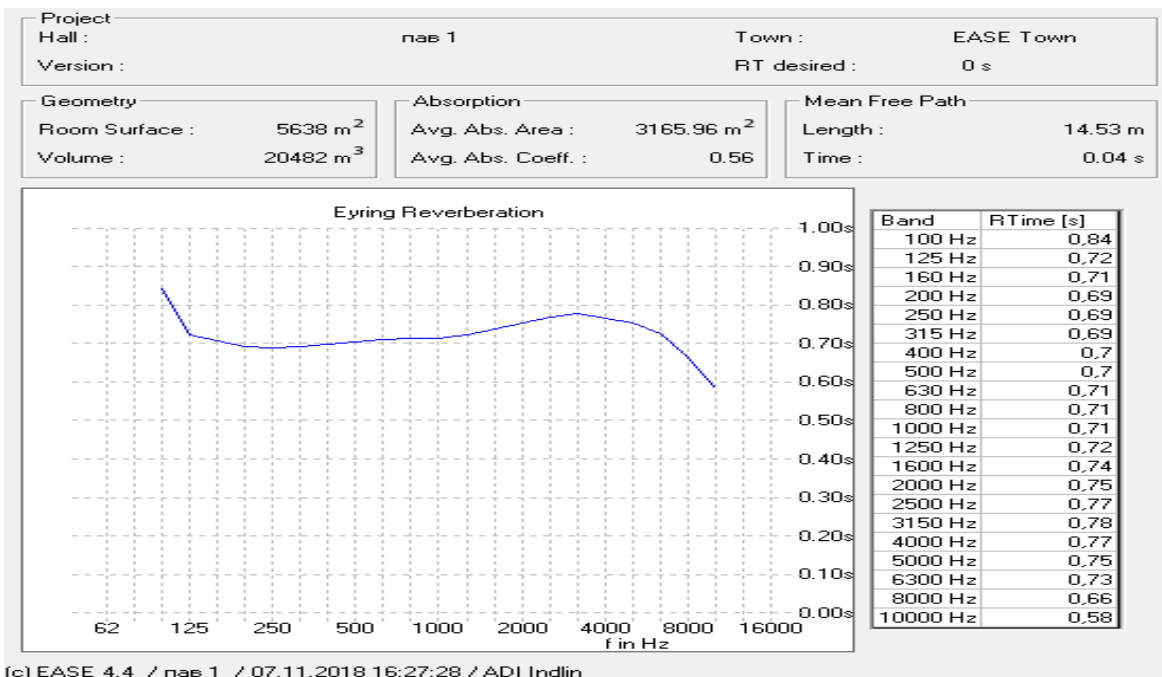
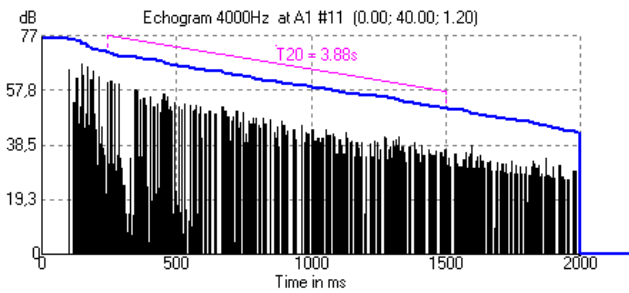


Рис. 2. Частотная характеристика времени реверберации в павильоне № 1, рассчитанная в статистическом модуле программы EASE по формуле Эйринга



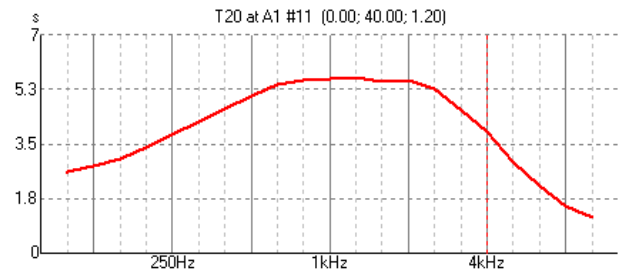
(c) EASE 4.4 / пав 1 / 29.11.2018 16:52:26 / ADI Indlin

Рис. 4. Импульсная реакция в одной из точек модели павильона № 1

Для оценки времени реверберации в программе используется метод обратного интегрирования Шредера. Согласно этому методу, каждому моменту времени t импульсной реакции приписывается суммарная энергия импульсного отклика за интервал времени от t до ∞ . Зависимость суммарной энергии от времени образует реверберационную кривую (синяя линия над импульсной реакцией), по которой оценивается время снижения уровня. В нашем случае от -5 дБ до -25 дБ (т.е. на 20 дБ), и оно умножается на 3 для получения времени реверберации, которое обозначается как T_{20} (эта оценка помещена над синей линией).

Усреднённое по 49-и точкам T_{20} приведено на рис. 5.

Итак, согласно статистическому методу (рис. 2) время реверберации $T_3 = 0.7$ с на частоте 1 кГц соответствует норме (максимально 1.2 с), а согласно лучевому методу $T_{20} = 5.8$ с на частоте 1 кГц (рис. 5) – не соответствует. Расхождение оценок (0.7 с и 5.8 с) нуждается в объяснении.

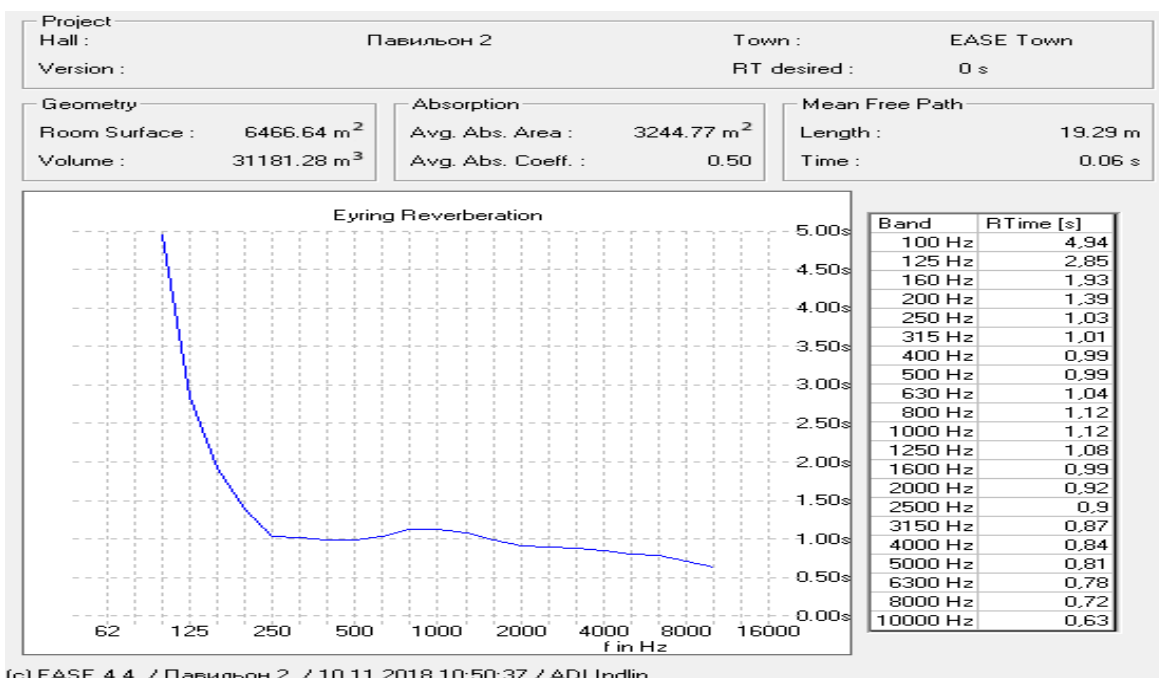


(c) EASE 4.4 / пав 1 / 29.11.2018 16:54:54 / ADI Indlin

Рис. 5. Частотная характеристика времени реверберации в павильоне № 1, рассчитанная в лучевом модуле AURA программы EASE

Наиболее правдоподобное объяснение заключается в том, что звуковые лучи, направленные в верхнюю полу сферу, практически полностью поглощаются облицовкой потолка и верхней части стен. Поэтому можно считать, что импульсная реакция в слушательской зоне определяется, главным образом, звукопоглощающими свойствами нижнего пояса стен, т.е. ГКЛ, а не средним $\alpha_{ср}$, который используется при выводе статистических формул.

Похожая ситуация сложилась при проектировании на этой киностудии нового павильона (длина – 52.6 м, ширина 31.3 м, площадь пола – 1650 м², высота – 19 м, объём – 31350 м³). Автору было предложено стать экспертом акустического проекта, который разрабатывала организация, продающая акустические материалы. Такое совмещение функций (проектирование и продажа) не слишком выгодно для заказчика, поскольку у проектировщика возникает соблазн улучшить экономические показатели своей организации за счёт продажи дорогих акустических материалов. Так и получилось.



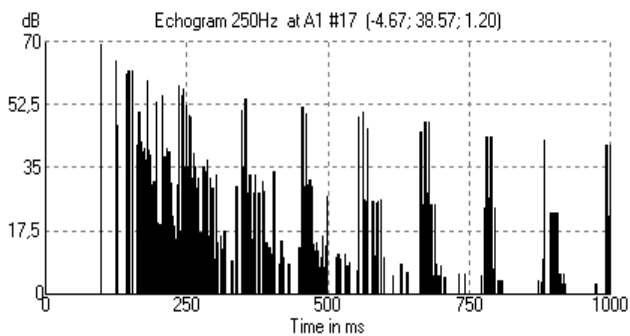
(c) EASE 4.4 / Павильон 2 / 10.11.2018 10:50:37 / ADI Indlin

Рис. 6. Частотная характеристика времени реверберации в новом павильоне (вариант 1), рассчитанная в статистическом модуле программы EASE по формуле Эйринга

Проектировщики предложили акустическую облицовку всего потолка напыляемой штукатуркой SONASPRAY, звукопоглощающей на высоких частотах и звукоотражающей на низких частотах, а облицовку стен – акустической панелью Soundboard Fine, также с дефицитом поглощения на низких частотах. Несмотря на высокую стоимость материалов, более нелепую в акустическом смысле облицовку для павильона трудно представить. Тем не менее, время реверберации на частоте 125 Гц, согласно расчётам проектировщиков вручную по формуле Эйринга, оказалось равным 1 с (что совершенно неправдоподобно), а на средних частотах – около 0.9 с.

Если разместить эти материалы в компьютерной модели нового павильона, то расчёт по формуле Эйринга (в статистическом модуле) даёт на низких частотах результат (рис. 6), подтверждающий недостаток поглощения на низких частотах, а на средних частотах – близкий к результатам расчёта проектировщиков.

Расчёт лучевым методом в модуле AURA (рис. 7) показывает наличие порхающего эхо с периодом 110 мс между параллельными полом и отражающим на низких частотах потолком. Особенно заметно наличие порхающего эхо на частоте максимального поглощения стеновых панелей (250 Гц). Это – недопустимый акустический дефект.



(c) EASE 4.4 / Павильон 2 / 10.11.2018 11:09:54 / ADI Indlin

Рис. 7. Импульсная реакция в одной из точек модели нового павильона (вариант 1)

Порхающее эхо даёт дополнительное увеличение времени реверберации на низких частотах, что видно на рис. 8; например, на частоте 250 Гц имеем $T_{20} = 1.60$ с, а по формуле Эйринга (рис. 6) $T_3 = 1.03$ с.

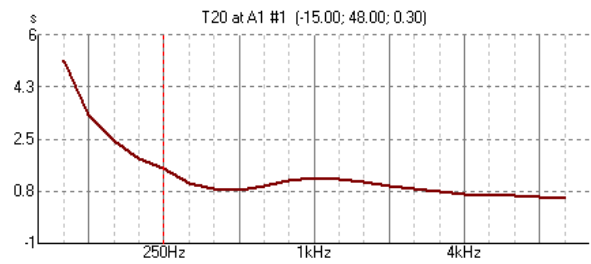
Получив отрицательное заключение, проектировщики несколько изменили проект. Его финальная версия представлена на рис. 9.

Потолок облицовывается звукопоглощающими панелями с большим воздушным зазором, что делает его более звукопоглощающим на низких частотах.

Нижний пояс стен на высоте от 0 до 0.5 м выполняется из гипсокартонных листов.

Средний пояс стен на высоте от 0.5 м до 4.7 м облицовывается акустической панелью Soundboard Fine.

Верхний пояс стен на высоте от 4.7 м до потолка облицовывается попеременно низкочастотным поглотителем на базе ГКЛ и акустической панелью Акулайт.



(c) EASE 4.4 / пав 1 / 11.12.2018 10:44:56 / ADI Indlin

Рис. 8. Частотная характеристика времени реверберации в новом павильоне (вариант 1), рассчитанная в лучевом модуле AURA программы EASE

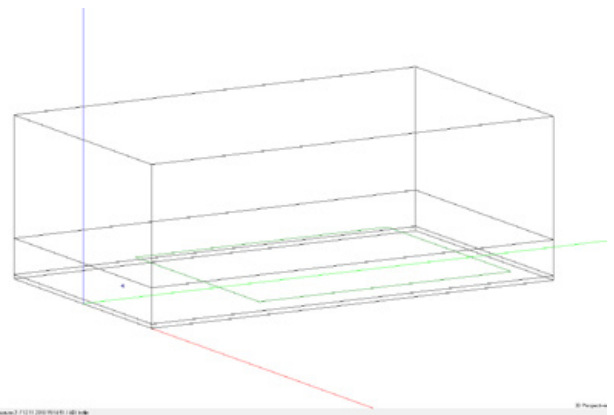


Рис. 9. Изометрия модели нового павильона (финальная версия)

В обоснование своего решения проектировщики представили результаты расчёта в компьютерной модели павильона, выполненной в программе ODEON (одной из лучших акустических программ). Время реверберации на средних частотах – около 1.2 с, на частоте 125 Гц – 1.3 с. Заказчик посчитал, что все требования эксперта выполнены, и санкционировал реализацию акустического проекта.

На замечание эксперта о возможности возникновения порхающего эхо проектировщики заявили, что это не первый их проект павильона, и никаких проблем с их проектами не возникало. А чтобы доказать свою правоту, они предложили своими силами провести акустические измерения в павильоне № 1, имеющем похожую акустическую облицовку (рис. 1).

Измерения были проведены. Результаты приведены на рис. 10.

Акустический процесс в нижнем поясе стен павильона № 1 (так же как и в компьютерной модели, рассмотренной выше) определяется акустическими характеристиками ГКЛ нижнего пояса. Поэтому не удивительно, что качественно результаты измерений (рис. 10) похожи на результаты расчёта (рис. 5).

Но есть и количественные расхождения между результатами расчёта T_{20} и измерений $T_{изм}$ (строки 1 и 3 табл. 1).

Для задания коэффициента поглощения ГКЛ ($\alpha_{гкл}$) в компьютерной модели мы пользовались усреднёнными литературными данными, которые приведены в строке 2 табл. 1.



Рис. 10. Частотная характеристика времени реверберации, измеренная в павильоне № 1

Если предположить, что T зависит лишь от α , т.е. $T = f(\alpha)$, то с помощью данных расчёта, приведённых на рис. 11, можно определить $\alpha_{изм}$, при котором получено $T_{изм}$. Эти данные приведены в строке 4 табл. 1.

Табл. 1. Данные расчёта в компьютерной модели и результаты измерений

f, Гц	125	250	500	1000	2000	4000
1 T_{20} , с	2.77	3.79	5.17	5.80	5.47	3.97
2 $\alpha_{гкл.табл}$	0.30	0.22	0.13	0.07	0.05	0.04
3 $T_{изм}$, с	1.85	2.90	3.55	4.10	3.20	1.95
4 $\alpha_{изм}: T=f(\alpha)$	0.43	0.28	0.22	0.17	0.20	0.26

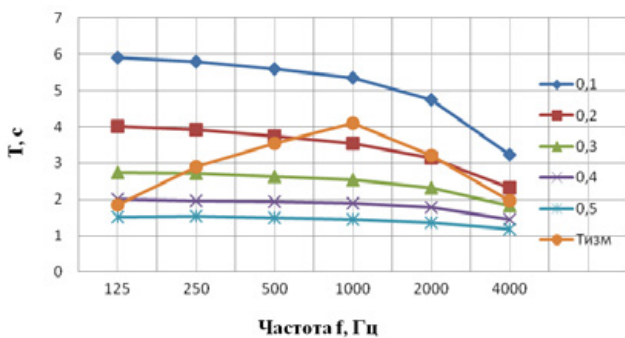


Рис. 11. Частотные характеристики T_{20} , измеренные лучевым методом в модели павильона № 1 при замене ГКЛ на материал с α , принимающим значения от 0.1 до 0.5, и характеристика, полученная в измерениях в зале ($T_{изм}$)

Однако, в действительности, T зависит не только от α , но и от рассеяния s [4].

Показатель рассеяния s в программе EASE может изменяться от 1 до 100% (0 – не устанавливается), по умолчанию $s = 20\%$. Рассчитанные значения T_{20} на рис. 5 и в табл. 1 получены при минимальном $s = 1\%$. Это означает, что из 100 лучей, падающих на поверхность, 99 отражаются зеркально, и лишь 1 – случайно (под углом, величина которого определяется случайным законом).

Литературные данные по $\alpha_{гкл}$ на высоких частотах за редким исключением совпадают с $\alpha_{гкл.табл}$ (строка 2 табл. 1). Поэтому можно утверждать, что значительное расхожде-

ние $\alpha_{гкл.табл}$ и $\alpha_{изм}$ на частоте 1 кГц (строки 2 и 4 табл.1) связано с влиянием рассеяния s .

Если для нижнего пояса модели установить $\alpha_{гкл.табл}$ (строка 2 табл. 1) и изменять s , то для $f = 1$ кГц результаты расчёта дадут зависимость, показанную на рис. 12.

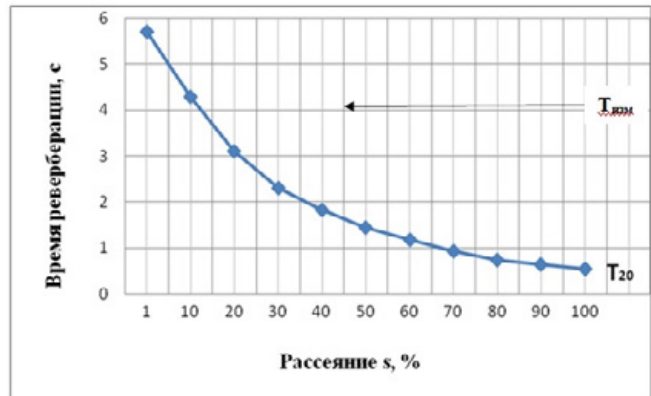


Рис. 12. Зависимость рассчитанного времени реверберации T_{20} от рассеяния s при $f=1$ кГц и $\alpha_{гкл.табл} = 0.07$ в модели павильона № 1

Из рис. 12 следует, что $T_{изм}=4.1$ с получается при $s=11\%$. Такое же построение для $f=2$ кГц даёт $s=18\%$ (рис. 13).

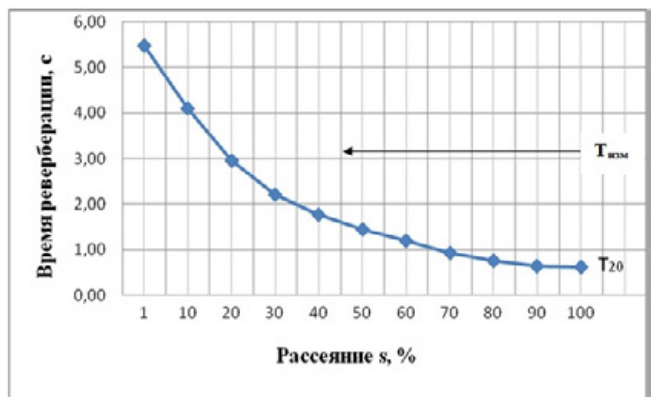


Рис. 13. Зависимость рассчитанного времени реверберации T_{20} от рассеяния s при $f = 2$ кГц и $\alpha_{гкл.табл} = 0.05$ в модели павильона № 1

Такое же построение для $f=4$ кГц даёт $s=27\%$ (рис. 14).

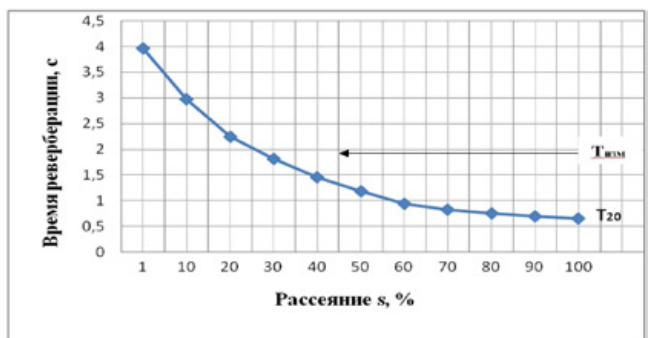


Рис. 14. Зависимость рассчитанного времени реверберации T_{20} от рассеяния s при $f = 4$ кГц и $\alpha_{гкл.табл} = 0.04$ в модели павильона № 1

Зависимостью рассеяния от частоты активно занимались создатели акустической компьютерной программы ODEON [5]. По данным, приведённым в описании программы, эта зависимость имеет вид интегральной функции нормального распределения (Φ).

Полученные нами данные в виде $\Phi(1\text{кГц}) = 0.11$, $\Phi(2\text{кГц}) = 0.18$ и $\Phi(4\text{кГц}) = 0.27$ действительно хорошо описываются функцией Φ со средним 16 кГц и стандартным отклонением 3.3 окт.

Экстраполируя функцию Φ на другие частоты, можно построить зависимость рассеяния s от частоты f (рис. 15 и строка 2 табл. 2).

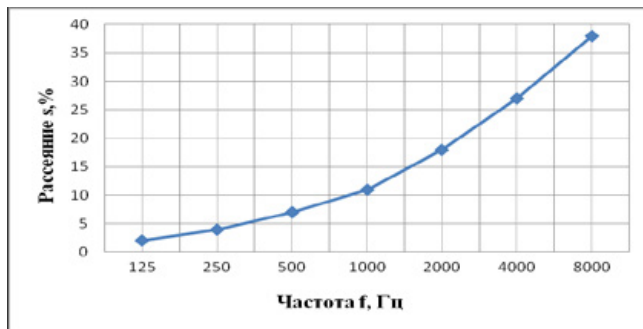


Рис. 15. Зависимость рассеяния s от частоты f для ГКЛ в павильоне № 1

Табл. 2. Данные измерений в павильоне №1 и расчётов в его компьютерной модели с учётом рассеяния

f , Гц	125	250	500	1000	2000	4000
1 $T_{изм}$, с	1.85	2.90	3.55	4.10	3.20	1.95
2 $s_{ГКЛ}$, %	2	4	7	11	18	27
3 $\alpha_{ГКЛ,изм} = f(s)$	0.43	0.27	0.17	0.07	0.05	0.04
4 $T_{20}(\alpha, s)$	1.89	2.92	3.53	4.14	3.19	1.95

На частотах выше 1 кГц возникают потери звука в воздухе, связанные с его влажностью [6]; акустические измерения проводились в тёплое время года предположительно при нормальной влажности 60%.

Чтобы проверить это, были проведены расчёты зависимостей $s(f)$ при допустимой влажности в помещениях (30 – 60%). Оказалось (рис. 16), что результаты расчётов при более низкой влажности плохо описываются функцией Φ ; поэтому основные расчёты проводились при нормальной влажности.

Расчёты лучевым методом при полученных значениях s и при $T_{изм}$, которое рассматривается как функция s и α (при влажности 60%), дали $\alpha_{ГКЛ,изм}$ (строка 3 табл. 2).

На высоких частотах комбинация s и α даёт в расчёте $T_{изм}$ – в силу методики построения зависимости s от f .

На более низких частотах получение в расчётах $T_{изм}$ требовало более высокие значения α , чем принятые табличные значения (строка 2 табл. 1).

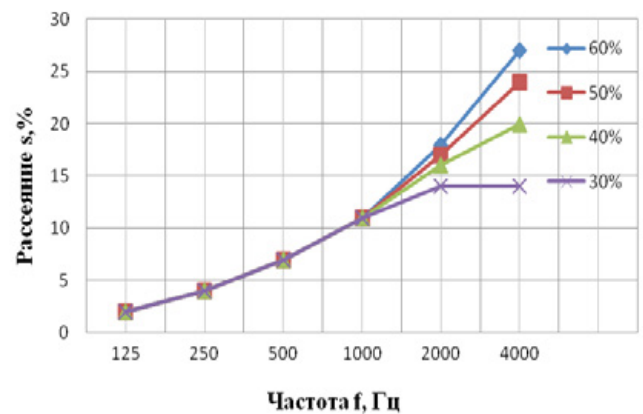


Рис. 16. Зависимости рассеяния s от частоты f для ГКЛ в павильоне № 1 при влажности воздуха, указываемой как параметр кривых

Коэффициент поглощения ГКЛ на низких частотах зависит от многих факторов (наличие и величина зазора между ним и строительной конструкцией, заполнение зазора минватой, количество листов). По литературным данным, он лежит в пределах от 0.2 до 0.4 (в среднем – 0.3) и даже до 0.5 (в конструкции низкочастотного пластинчатого поглотителя).

Значение $\alpha_{ГКЛ}(125)=0.43$ указывает на конструкцию, которая задумывалась как пластинчатый поглотитель.

Величина рассеяния s может устанавливаться в диапазоне от 1 до 100% в модуле AURA одновременно для всех поверхностей модели и для всего частотного диапазона.

Однако, при задании характеристик материалов предусмотрена возможность внесения величин s для каждой частотной полосы (практически эта возможность не используется из-за отсутствия данных по величинам s).

Это позволило ввести в базу данных материал ГКЛ(НЧ)+ s , параметры которого были определены для каждой частоты величинами $\alpha_{ГКЛ,изм}$ и s из табл. 2 (строки 2 и 3). Результаты расчёта T_{20} с этим материалом в нижнем поясе модели павильона №1 приведены в строке 4 табл. 2. Они практически совпадают с результатами измерений (строка 1 табл. 2).

Вернёмся к финальной версии проекта нового павильона (рис. 9), и проведём расчёты с использованием полученных данных о рассеянии (строка 2 табл. 2).

Облицовка нижнего пояса рассчитывается, как и в варианте с ГКЛ(НЧ)+ s (строки 2 и 3 табл. 2), так и в варианте ГКЛ+ s , имеющем стандартные (усреднённые) характеристики поглощения α (строка 2 табл.1). В обоих вариантах внесено рассеяние s (строка 2 табл. 2). Характеристики акустической панели Soundboard Fine+ s (среднего пояса) также дополнены рассеянием s (строка 2 табл. 2).

Расчёты проводились в лучевом модуле AURA программы EASE в нижнем поясе (высота источника звука 0.4 м, приёмной зоны – 0.3 м) и в среднем поясе (высота источника звука 1.6 м, приёмной зоны – 1.5 м). Результаты приведены на рис. 17.

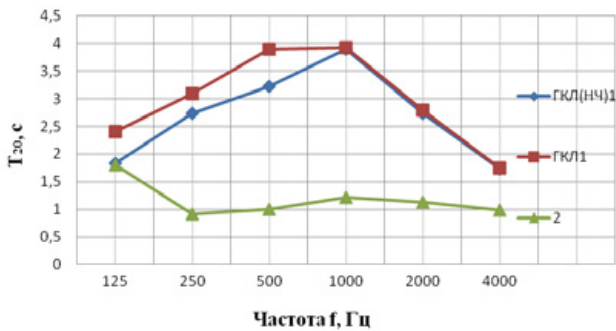
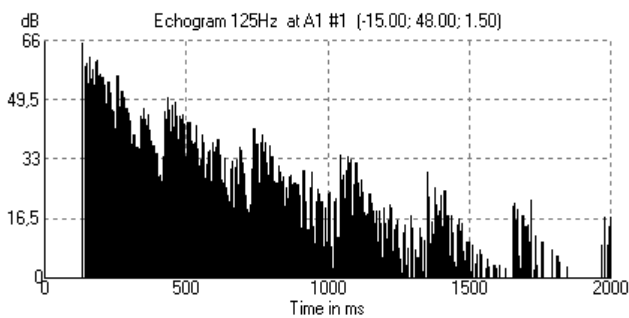


Рис. 17. Частотная характеристика времени реверберации в новом павильоне: кривые с индексом «1» – для нижнего пояса, кривая с индексом «2» – для среднего пояса

Кривая ГЛЛ(НЧ)1 похожа на результаты измерений в павильоне №1 (рис. 10). Нижняя кривая с индексом «2», полученная в среднем поясе, вполне удовлетворительная в среднем диапазоне, на низких частотах имеет подъём из-за дефицита низкочастотного поглощения панелей Soundboard Fine. Это сопровождается порхающим эхо, хорошо заметным в некоторых точках слушательской зоны (рис. 18).



(c) EASE 4.4 / пав 1 / 04.12.2018 16:43:02 / ADI Indlin

Рис. 18. Импульсная реакция в одной из точек среднего пояса модели нового павильона (финишный вариант)

В описании программы ODEON [5] авторы указывают на отсутствие точных данных относительно рассеяния материалов, тем не менее, приводят предположительную кривую зависимости s от f для материалов с гладкой поверхностью: эта кривая характеризуется величиной рассеяния на частоте 707 Гц (логарифмически средняя частота интервала 500–1000 Гц): $s(707) = 2\text{--}5\%$. По нашей оценке, $s_{\text{ГЛЛ}}(707) = 9\%$ (строка 2 табл. 2).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. ОСТ 19-54-87. Павильоны киностудий для синхронной записи звука. Акустические требования. Методы контроля.
2. СП 51.13330.2011 (СНиП 23-03-2003 в редакции 2011 г.). Защита от шума.
3. Индлин Ю.А. Верны ли формулы для расчёта времени реверберации? – Мир техники кино, 2018–1(12), с. 3–11.
4. Индлин Ю.А. Зависимость времени реверберации от рассеяния звука при отражении. – indlin2014d.ucoz.ru
5. ODEON User's Manual. – odeon.dk
6. Индлин Ю.А. Показатель затухания звука в воздухе залов. – indlin2014e.ucoz.ru

Это означает, что если бы проектировщики выбрали $s(f)$, соответствующую материалам с гладкой поверхностью, то получили бы значения T_{20} ещё более высокие, чем на рис. 17.

Однако проектировщики представили результаты вычислений в нижнем поясе в программе ODEON с временем реверберации 1.2 с на частоте 1000 Гц.

Оказывается, это вполне возможно при $s=50\%$, что видно из зависимости $s(f)$, вычисленной для этой частоты (рис. 19).

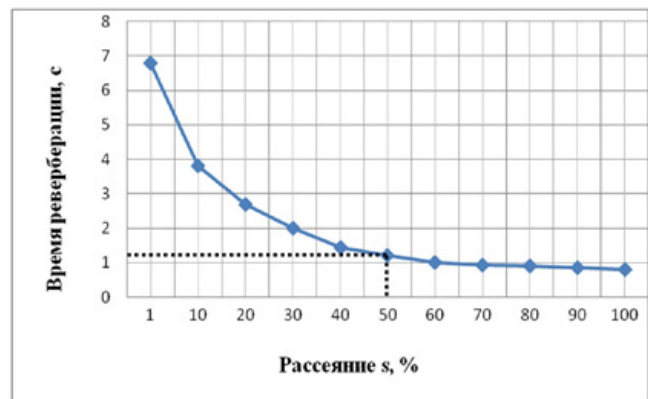


Рис. 19. Зависимость рассчитанного времени реверберации T_{20} от рассеяния s в нижнем поясе при $f = 1$ кГц в модели нового павильона

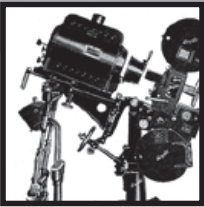
В описании программы ODEON [5] такой величиной s характеризуются «грубые строительные структуры с глубиной рельефа 0.3 – 0.5 м». Понятно, что это описание мало напоминает поверхность ГЛЛ.

Заключение

Расчёты с помощью статистических формул (Сэбина и Эйринга) не гарантируют выполнения технических требований ко времени реверберации помещений.

Более полную картину акустических характеристик помещения даёт лучевой метод компьютерного моделирования, позволяющий ввести в рассмотрение рассеяние звука при отражении.

Использование лучевого метода при анализе акустики павильонов с синхронной записью звука выявило необходимость учёта рассеяния и позволило определить зависимость рассеяния от частоты для гладких облицовочных материалов. ■



ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ

при продольном смещении оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя



О.Н. Раев, ncenter@list.ru, к.т.н., доцент, Всероссийский государственный институт кинематографии имени С.А. Герасимова, РФ

Аннотация

В статье проанализированы алгоритмы оценки качества изображения при продольном смещении оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя при фото- и киносъёмке. Происходящее при этом преобразование изображения рассматривается как самостоятельное звено процесса записи изображений, аналогичное другим звеньям съёмочного процесса: объектив, плёнка, матрица, поперечный сдвиг оптического изображения относительно светочувствительного слоя при экспонировании кадра, и т.д.

Уточнены математические модели функции рассеяния точки, функции рассеяния линии и пространственной частотной характеристики продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя.

Ключевые слова: цифровая фотокамера, цифровой киноаппарат, функция рассеяния, пространственная частотная характеристика, киноплёнка, светочувствительная матрица.

EVALUATION OF IMAGE QUALITY IN THE LONGITUDINAL SHIFT OF THE LENS-FORMED OPTICAL IMAGE COMPARED TO THE PHOTSENSITIVE LAYER

O. Raev, ncenter@list.ru, Ph.D, VGIK, Russia

Abstract

The article deals with the algorithms for assessing the quality of the image with a longitudinal shift of the optical image formed by the lens compared to the photosensitive layer when photographing and filming. The transformation in this case is considered to be an independent part of the image recording process, as well as other parts of the shooting process: lens, film, matrix, transverse shift of the optical image relative to the photosensitive layer during a frame exposure, etc.

The mathematical models of the point scattering function, the line scattering function, and the spatial frequency characteristic of the longitudinal displacement of the optical image formed by the lens compared to the photosensitive layer are clarified.

Keywords: digital photo camera, digital movie camera, scattering function, modulation transfer function, film, image sensor.

Из теории оптических систем известно (например, [5,9,11]), что изображения объектов съёмки, расположенных на разных расстояниях от объектива, размещаются за объективом в пространстве изображений также

на разных расстояниях от объектива: чем дальше объект съёмки от объектива, тем ближе к задней фокальной плоскости будет его изображение. Таким образом, трёхмерное пространство объектов съёмки преобразуется

объективом в трёхмерное пространство изображений этих объектов.

При этом свет, приходящий от объектов съёмки во входной зрачок объектива, преломляется в объективе на каждой поверхности раздела двух однородных оптических сред с разными показателями преломления. В результате из выходного зрачка объектива свет выходит таким образом, что на определённых расстояниях от объектива формируются изображения объектов съёмки. Однако фотоны, в своей совокупности формирующие изображения, не останавливаются в плоскости формирования того или иного изображения, а продолжают своё движение до тех пор, пока на их пути не встретится новая поверхность раздела двух сред, где они либо отражатся, либо пойдут дальше в другом направлении, либо поглотятся. Если же после объектива будет только однородная оптическая среда, например, воздух, то никакого изображения мы не увидим и не зарегистрируем. В этом смысле оптические изображения объектов съёмки являются скрытыми, не проявленными и одновременно виртуальными, как и любые другие виды изображений. Для того чтобы их проявить, произвести их фиксацию (запись), в настоящее время применяют светочувствительный слой – фотоэмульсию, нанесённую на какую-либо основу (плёнка, стекло и т.д.), или пространственно строго структурированные миниатюрные фотоэлементы, являющиеся основными функциональными частями светочувствительной матрицы.

Светочувствительный слой может рассматриваться как двумерная плоскость, размещённая в трёхмерном пространстве виртуальных оптических изображений, формируемых объективом. Плоскость светочувствительного слоя перпендикулярна оптической оси объектива, расположена на некотором расстоянии от объектива. Поэтому со светочувствительным слоем совмещается только одна плоскость пространства изображений, однозначно сопряжённая с одной конкретной плоскостью пространства объектов съёмки. Связь места формирования объективом изображения объекта съёмки с пространственным нахождением самого объекта определяется формулой Гаусса (формула в отрезках) [5,9,11]:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f'}, \quad (1)$$

где a – расстояние от передней главной точки H объектива до объекта съёмки A ; a' – расстояние от задней главной точки объектива до изображения объекта съёмки A' ; f' – фокусное расстояние объектива, т.е. расстояние от задней главной точки H' объектива до задней фокальной точки F' объектива; или формулой Ньютона [5,9,11]:

$$xx' = f^2, \quad (2)$$

где x – расстояние от переднего фокуса объектива до объекта съёмки A ; x' – расстояние от заднего фокуса объектива до изображения объекта съёмки A' .

Как следует из формул Гаусса (1) и Ньютона (2), изображения других объектов съёмки, находящиеся на других расстояниях от объектива, окажутся до или после светочувствительного слоя (рис. 1).

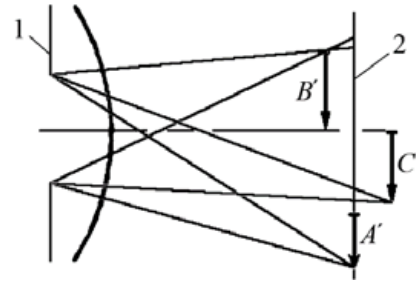


Рис. 1. Образование кружков рассеяния на поверхности светочувствительного слоя из-за несовпадения оптических изображений объектов съёмки со светочувствительным слоем: 1 - выходной зрачок объектива; 2 - светочувствительный слой

На рис. 1 оптическое изображение A' объекта A совмещено со светочувствительным слоем (объектив сфокусирован на объект A). Поскольку оптические изображения B' и C' находятся в других плоскостях пространства изображений, то на поверхности светочувствительного слоя изображения B' и C' окажутся размытыми. Величина размытия зависит от диаметра выходного зрачка объектива, расстояния от выходного зрачка до оптического изображения объекта съёмки и от величины продольного смещения оптических изображений B' и C' относительно светочувствительного слоя (рис. 1).

Проанализировать преобразование трёхмерного оптического изображения, формируемого объективом, в двумерное оптическое изображение, получаемое на поверхности светочувствительного слоя, и оценить качество записываемого изображения можно с помощью кружка рассеяния, функций рассеяния точки, линии и края и пространственной частотной характеристикой.

Кружок рассеяния

Из теории преобразования изображений (например, [2–4]) известно, что объектив рассматривается как самостоятельное звено процесса преобразования изображений при фото- и киносъёмке. Аберрации объектива и дифракция света на оправках и диафрагмах объектива снижают качество оптического изображения, которое может оцениваться функцией рассеяния точки объектива и пространственной частотной характеристикой объектива (в оптике принято пространственную частотную характеристику называть функцией передачи модуляции).

Аналогично продольное смещение оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя также может быть представлено как самостоятельное звено процесса преобразования изображения в фото- и киноаппарате.

Применим в плоскости рассматриваемого оптического изображения, формируемого объективом, систему коор-

динат – центр в точке пересечения плоскости оптического изображения оптической осью объектива, координатная ось x направлена горизонтально, координатная ось y направлена вертикально.

Пусть нормированное оптическое изображение $E'_1(x, y)$ представляет собой точечный, бесконечно малый в пространстве, сигнал изображения, расположенный на оптической оси объектива, т.е. определяется двумерной дельта-функцией Дирака $\delta(x, y)$:

$$E'_1(x, y) = \delta(x, y) \quad (3)$$

Размытие изображения, возникающее в результате смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя, приводит к тому, что оптическое изображение $\delta(x, y)$ преобразуется на поверхности светочувствительного слоя в кружок рассеяния диаметром d_c (рис. 2), причём

$$d_c = \frac{D'z_{см}}{p'} \quad (4)$$

где D' – диаметр выходного зрачка объектива; p' – расстояние от выходного зрачка объектива до оптического изображения объекта съёмки; $z_{см}$ – расстояние от оптического изображения объекта съёмки до светочувствительного слоя.

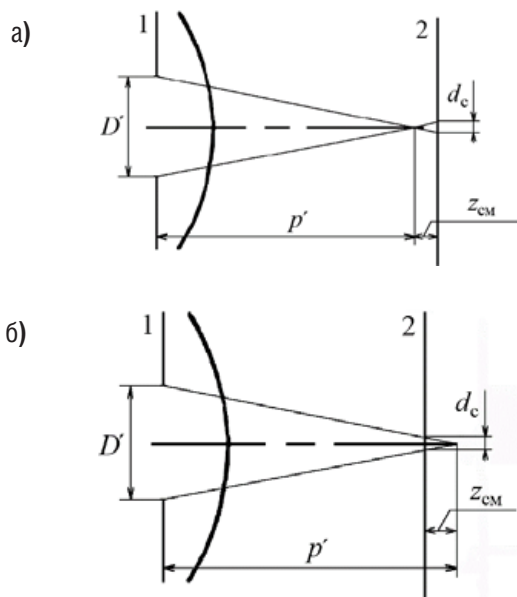


Рис. 2. Схема формирования кружка рассеяния, возникающего в результате смещения оптического изображения: а) оптическое изображение формируется объективом 1 до светочувствительного слоя 2; б) оптическое изображение формируется объективом 1 за светочувствительным слоем 2

Диаметр d_c кружка рассеяния характеризует резкость изображения объекта съёмки. Например, если установить допустимый диаметр $d_c^{доп}$ кружка рассеяния, то появляется возможность рассчитать глубину резко изобра-

жаемого пространства, границы резко изображаемого пространства и гиперфокальное расстояние (например, [1,6,7]) для разных значений диаметра апертурной диафрагмы любых объективов.

Однако диаметр d_c кружка рассеяния как параметр, характеризующий качество изображения малоинформативен, поэтому в теории преобразования изображений используются функции рассеяния и пространственные частотные характеристики звеньев процесса записи, обработки и воспроизведения изображений (например, [2–4,14]).

Применяемая пространственная частотная характеристика продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя

Наиболее удобной характеристикой для оценки качества изображения является пространственная частотная характеристика, поскольку каждое звено фотографического или кинематографического процесса можно рассматривать самостоятельно, описывая его собственной пространственной частотной характеристикой, а пространственная частотная характеристика всего фотографического или кинематографического процесса получается перемножением пространственных частотных характеристик всех звеньев.

В классической статье Ф. Перрена «Методы оценки фотографических систем» [10] пространственная частотная характеристика $K_{пр. см.}(f_x)$ продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя определяется следующей формулой:

$$K_{пр. см.}(f_x) = \frac{\sin(\pi f_x d_c)}{\pi f_x d_c} \quad (5)$$

где f_x – пространственная частота изменения освещённости вдоль оси x , соответствующая количеству периодов гармонического изменения освещённости $E'_{оп}(x)$ в изображении, приходящихся на 1 мм вдоль оси x .

Теория преобразования изображений [2,3] позволяет сделать вывод, что формула (5) действительна при следующем допущении: график изменения освещённости в изображении точечного объекта на светочувствительном слое вдоль обеих пространственных координат имеет П-образную форму.

На рис. 3 приведён пример пространственной частотной характеристики (график 1), рассчитанной с помощью формулы (5) при диаметре кружка рассеяния $d_c = 0,025$ мм.

Из формулы (5) следует, что существует бесконечно много значений пространственных частот, при которых коэффициент передачи контраста принимает нулевые значения. Но если учесть пороговое значение контраста, воспринимаемого человеком, и пространственные частотные характеристики других звеньев фотографического или кинематографического процесса, то доста-

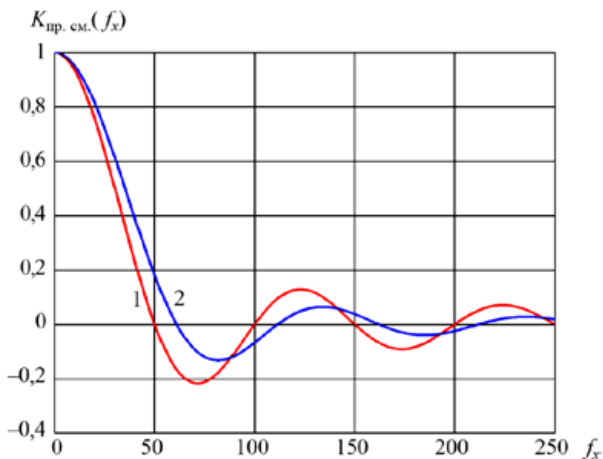


Рис. 3. Пространственная частотная характеристика продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя при кружке рассеяния диаметром : 1 - согласно формуле (5), 2 - согласно формуле (22)

точно принимать во внимание только несколько первых нулевых значений пространственной частотной характеристики, представляющих практический интерес.

В рассматриваемом примере, согласно формуле (5), пространственная частотная характеристика равна нулю при пространственных частотах

$$f_x^0 = \frac{n}{d_c}, \quad (6)$$

где n – целое число: 1, 2, 3...

Кроме того, согласно той же формуле (5), при пространственных частотах, расположенных в интервалах

$$\frac{k}{d_c} < f_x < \frac{k+1}{d_c}, \quad (7)$$

где k – целое нечётное число: 1, 3, 5, 7..., пространственная частотная характеристика имеет отрицательные значения (график 1 на рис. 3).

Отрицательные значения $K_{пр. см.}(f_x)$ означают, что фаза пространственных частот скачком изменяется на 180° , в результате в изображении гармонического изменения яркостей светлые и тёмные участки окажутся в противофазе по отношению к объекту съёмки, т.е. где должны находиться светлые изображения, будут тёмные, и наоборот. Пример – фотография на рис. 4 из статьи Ф. Перрена [10, с. 344, рис. 22].

Аналогичные экспериментально зафиксированные примеры реверсирования контраста в изображении, возникающего в результате продольного смещения оптического изображения, построенного объективом, относительно светочувствительного слоя для фотоэмульсионных технологий приведены, например, в книге Джозефа Гудмена «Введение в Фурье-оптику» [4, с. 169, рис. 47,б], а для цифровых технологий – например, в ра-

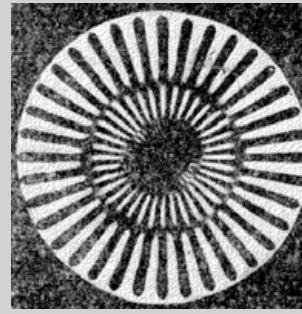


Рис. 4. Фотография радиальной миры, полученная при расфокусировке объектива [10]

боте [8], хотя в цифровых технологиях подобные искажения могут появиться и как результат дискретизации изображения по пространственным координатам [12,13].

В вычислительной оптике [4] смещение оптического изображения, построенного объективом, относительно светочувствительного слоя рассматривается как вид простой аберрации, хотя расфокусировку можно отнести к аберрациям лишь формально. В формулах расчёта пространственной частотной характеристики, приведённых в литературе по оптике, часто применены другие переменные; в них могут быть включены дополнительные параметры, например длина волны; часто использованы не абсолютные значения пространственных частот, а относительные (например, [4, с. 166–170]), но, по сути, большинство известных формул расчёта пространственной частотной характеристики продольного смещения изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя повторяют формулу (5).

Главный недостаток формулы (5) – при её выводе форма кружка рассеяния принята квадратной, а не круглой, какова она в реальности. Последствием такого допущения становятся существенные количественные отклонения результатов расчётов, хотя при этом качественные изменения изображения на поверхности светочувствительного слоя, происходящие в результате продольного сдвига оптического изображения относительно светочувствительного слоя, описываются верно.

Функция рассеяния

Введём в рассмотрение вторую систему пространственных координат, у которой центр координат – точка пересечения светочувствительного слоя оптической осью объектива, ось x_c направлена горизонтально в плоскости светочувствительного слоя, ось u_c – вертикально в плоскости светочувствительного слоя, ось z_c – вдоль оптической оси в сторону объектива.

Рассмотрим функцию рассеяния, вызываемую продольным смещением оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя для центра кадра.

Допустим, что освещённость в пределах кружка рассеяния постоянна. Тогда нормированная освещённость $E'_{т. на св. слое}(x_c, u_c)$, называемая функцией рассеяния точки, в оптическом изображении точечного объекта на светочувствительном слое, возникающая в результате

продольного смещения оптического изображения, построенного объективом, относительно светочувствительного слоя, описывается уравнением:

$$E'_{\text{т. на св. слое}}(x_c, y_c) = \begin{cases} \frac{4}{\pi d_c^2} & \text{при } \sqrt{x_c^2 + y_c^2} \leq \frac{d_c}{2} \\ 0 & \text{при } \sqrt{x_c^2 + y_c^2} > \frac{d_c}{2} \end{cases} \quad (8)$$

Если объект съёмки не точечный, то в плоскости светочувствительного слоя образуется совокупность кружков рассеяния, которые накладываются друг на друга. Например, освещённость в центре кадра определяется наложением всех кружков рассеяния, которые попадают на центр кадра. На рис. 5 из совокупности всех кружков рассеяния, которые накладываются на центр кадра и тем самым влияют на итоговую освещённость в центре кадра, приведены только два кружка рассеяния, максимально удалённые от центра кадра.

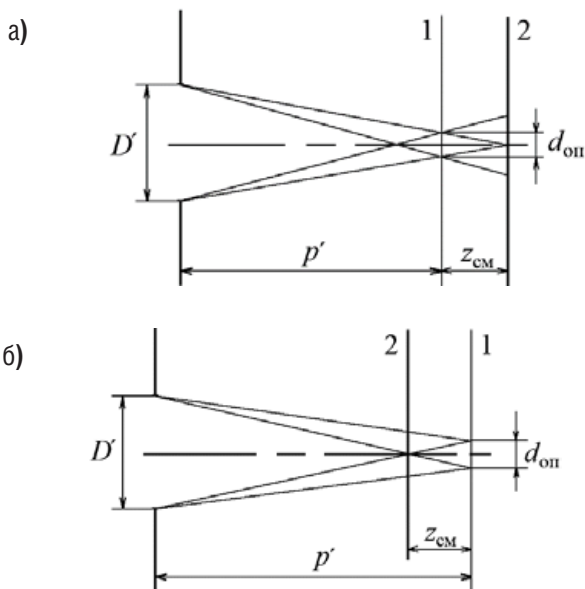


Рис. 5. Схема наложения кружков рассеяния на поверхности светочувствительного слоя в вертикальной плоскости: а) оптическое изображение 1 формируется объективом до светочувствительного слоя 2; б) оптическое изображение 1 формируется объективом за светочувствительным слоем 2

На рис. 5 показано, что освещённость на светочувствительном слое в центре кадра зависит от распределения и значений освещённости в пределах кружка диаметром $d_{\text{оп}}$ в плоскости оптического изображения, формируемого объективом.

Из подобия треугольников на рис. 2,а и 5,а составим пропорции:

$$\frac{p'}{D'} = \frac{z_{\text{см}}}{d_c} \quad (9)$$

и

$$\frac{p' + z_{\text{см}}}{D'} = \frac{z_{\text{см}}}{d_{\text{оп}}} \quad (10)$$

Из системы уравнений (9) и (10) получаем, что

$$\frac{1}{d_c} + \frac{1}{D'} = \frac{1}{d_{\text{оп}}} \quad (11)$$

или

$$d_{\text{оп}} = \frac{d_c D'}{D' + d_c} \quad (12)$$

В случае, когда плоскость оптического изображения объекта съёмки расположена за светочувствительным слоем (рис. 5,б), уравнение (12) преобразуется в (13):

$$d_{\text{оп}} = \frac{d_c D'}{D' - d_c} \quad (13)$$

Поскольку в практике фото- и киносъёмки чаще всего $d_c \ll D'$, то из уравнений (12) и (13) следует, что допустимо принять $d_{\text{оп}} \approx d_c$.

Так как исходным является распределение освещённости $E'_{\text{оп}}(x, y)$ в оптическом изображении, формируемом объективом в плоскости оптического изображения, не совпадающей с поверхностью светочувствительного слоя, а функция рассеяния точки $E'_{\text{т. на св. слое}}(x_c, y_c)$ определена на поверхности светочувствительного слоя, то для расчёта освещённости $E'_{\text{оп. на св. слое}}(x_c, y_c)$ на светочувствительном слое необходимо перейти от функции рассеяния точки $E'_{\text{т. на св. слое}}(x_c, y_c)$ на светочувствительном слое к её эквиваленту в плоскости оптического изображения, формируемого объективом.

При принятом допущении – постоянство освещённости в пределах кружка рассеяния на светочувствительном слое – таким эквивалентом в плоскости оптического изображения, формируемого объективом, является кружок диаметром $d_{\text{оп}}$. Тогда, принимая $d_{\text{оп}} \approx d_c$ и учитывая из теории преобразования сигналов изображения (например, [2–4, 14]), что освещённость $E'_{\text{оп. на св. слое}}(x_c, y_c)$ на светочувствительном слое определяется двумерной свёрткой освещённости $E'_{\text{оп}}(x, y)$ в оптическом изображении, формируемом объективом, с функцией рассеяния $E'_{\text{т. на св. слое}}(x_c, y_c)$ продольного смещения оптического изображения относительно светочувствительного слоя, то:

$$E'_{\text{оп. на св. слое}}(x_c, y_c) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E'_{\text{оп}}(x, y) E'_{\text{т. на св. слое}}(x_c - x, y_c - y) dx dy \quad (14)$$

Изменение яркости объекта съёмки вдоль одной пространственной координатной оси

Положим, что освещённость в плоскости оптического изображения, формируемого объективом, изменяется только вдоль пространственной координаты x .

Проанализируем кружок с диаметром $d_{\text{оп}}$, расположенный в плоскости оптического изображения, формируемого объективом (рис. 6). Очевидно, что в рассма-

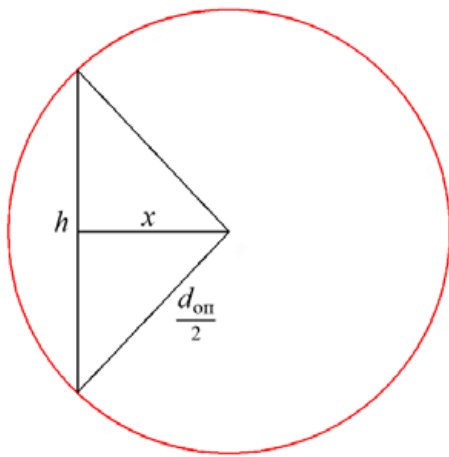


Рис. 6. Хорда h кружка диаметром $d_{оп}$ в плоскости оптического изображения, формируемого объективом

триваемом случае в пределах этого кружка все точки, расположенные на любой хорде, перпендикулярной координатной оси x , имеют одинаковую освещённость. Поэтому вклад освещённости данных точек в итоговую освещённость в центре кадра на светочувствительном слое пропорционален величине хорды, которая, согласно рис. 6, равна:

$$h = \sqrt{d_{оп}^2 - 4x^2} . \tag{15}$$

Из уравнений (8) и (15) получаем, что нормированная освещённость $E'_л(x_c)$ на светочувствительном слое, возникающая в результате продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя при изменении яркости объекта съёмки вдоль одной пространственной координатной оси x , имеет вид:

$$E'_л(x_c) = \frac{4}{\pi d_{оп}^2} \sqrt{d_{оп}^2 - 4x_c^2} \text{rect}\left(\frac{x_c}{d_{оп}}\right), \tag{16}$$

где $\text{rect}\left(\frac{x_c}{d_c}\right)$ – прямоугольная функция, определяемая равенствами:

$$\text{rect}\left(\frac{x_c}{d_{оп}}\right) = \begin{cases} 1 & \text{при } |x| < \frac{d_{оп}}{2} \\ \frac{1}{2} & \text{при } |x| = \frac{d_{оп}}{2} \\ 0 & \text{при } |x| > \frac{d_{оп}}{2} \end{cases} . \tag{17}$$

Функция $E'_л(x_c)$ является функцией рассеяния линии.

Тогда распределение освещённости $E'_{оп. на св. слое}(x_c)$ на светочувствительном слое из двумерной свёртки (14) преобразуется к виду:

$$E'_{оп. на св. слое}(x_c) = \int_{-\infty}^{\infty} E'_{оп}(x) \frac{4}{\pi d_{оп}^2} \sqrt{d_{оп}^2 - 4(x_c - x)^2} \text{rect}\left(\frac{x_c - x}{d_{оп}}\right) dx. \tag{18}$$

Гармоническое изменение освещённости в оптическом изображении вдоль одной пространственной координаты

Пусть освещённость $E'_{оп}(x, y)$ в оптическом изображении, формируемом объективом, не зависит от времени и пространственной координаты y , а изменяется только вдоль пространственной координаты x по гармоническому закону:

$$E'_{оп}(x) = 0,5 \cos(2\pi f_x x + \varphi) + 0,5, \tag{19}$$

где φ – фаза освещённости относительно начала координат.

Освещённость в оптическом изображении, описываемом уравнением (19), нормирована таким образом, чтобы все возможные значения освещённости находились в диапазоне $0 \leq E'_{оп}(x) \leq 1$.

Подставляя (19) в (18) и проводя несложные преобразования, получаем:

$$E'_{оп. на св. слое}(x_c) = \frac{4}{\pi d_{оп}^2} \int_{x_c - \frac{d_{оп}}{2}}^{x_c + \frac{d_{оп}}{2}} \sqrt{d_{оп}^2 - 4(x_c - x)^2} \cdot (0,5 \cos(2\pi f_x x + \varphi) + 0,5) dx \tag{20}$$

Пусть освещённость в оптическом изображении, формируемом объективом, изменяется по гармоническому закону (19) с пространственной частотой 50 мм^{-1} и фазой $\varphi=0$. Тогда, согласно интегралу (20), при возникновении кружка рассеяния с диаметром $d_c < 0,0244 \text{ мм}$ закон изменения освещённости на поверхности светочувствительного слоя не изменится, но амплитуда гармонического сигнала уменьшится (график 2 на рис. 7). При значении диаметра кружка рассеяния $d_c = 0,0244 \text{ мм}$ информация об изменении освещённости в объекте съёмки будет потеряна – на светочувствительном слое сформируется световое поле с постоянной освещённостью (график 3 на рис. 7). Но если размер кружка рассеяния будет ещё увеличиваться в пределах $0,0244 \text{ мм} < d_c < 0,0446 \text{ мм}$, то на поверхности светочувствительного слоя вновь сформируется изменяющаяся по гармоническому закону освещённость с небольшим контрастом, но смещённая относительно сигнала изображения в исходном оптическом изображении на половину периода (график 4 на рис. 7). Дальнейшее увеличение диаметра кружка рассеяния $d_c > 0,0446 \text{ мм}$ приведёт к возврату к исходной фазе, но при уменьшении контраста изображения (график 5 на рис. 7).

В рассматриваемых в данной статье преобразованиях, в отличие от преобразований изображения, вызванных их пространственной дискретизацией в светочувствительной матрице [12,13], значение фазы φ исходного оптического изображения не изменяет преобразованный сигнал изображения: фаза освещённости в оптическом изображении на поверхности светочувствительного слоя совпадает с

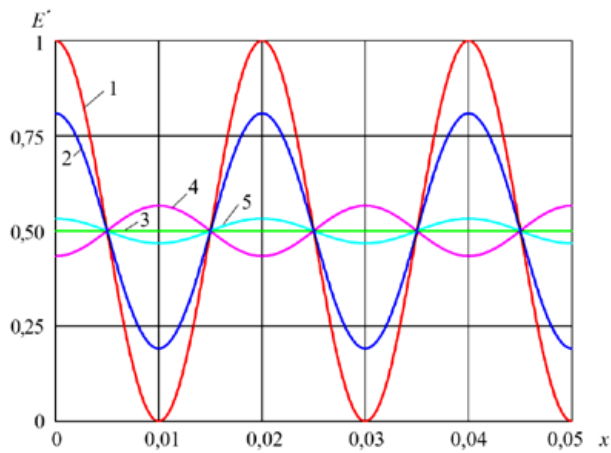


Рис. 7. Примеры преобразования исходного оптического изображения (1), формируемого объективом, в оптическое изображение на поверхности светочувствительного слоя при кружке рассеяния: 2 - $d_c = 0.012$ мм; 3 - $d_c = 0.0244$ мм; 4 - $d_c = 0.033$ мм; 5 - $d_c = 0.054$ мм

фазой освещённости в оптическом изображении, формируемом объективом, за исключением размеров кружков рассеяния, при которых фаза изображения на светочувствительном слое изменяется скачком на половину периода.

Приведём пример изменения освещённости в центре кадра в зависимости от диаметра кружка рассеяния, возникающего от продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя (рис. 8).

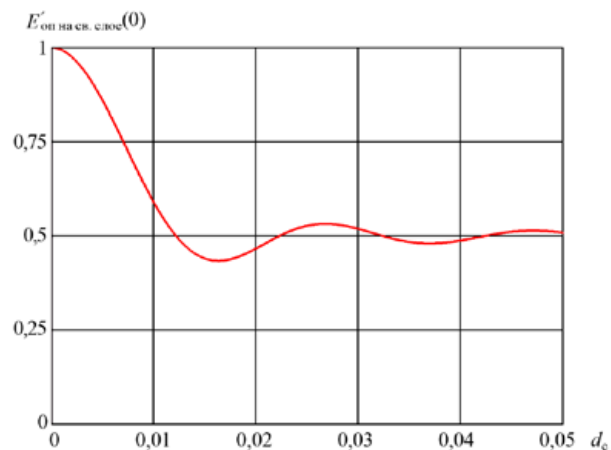


Рис. 8. Освещённость в центре кадра на светочувствительном слое в зависимости от диаметра кружка рассеяния d_c

На рис. 8 показано, что при увеличении смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя колебания освещённости на поверхности светочувствительного слоя между светлыми и тёмными участками убывают, проходя через следующие друг за другом максимумы и минимумы, пока освещённость в оптическом изображении на светочувствительном слое не станет практически постоянной.

Уточнённая пространственная частотная характеристика преобразования, вызываемого продольным смещением оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя

Согласно теории преобразований изображений [2–4], пространственная частотная характеристика $K_{пр. см.}(f_x, f_y)$ продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя определяется двумерным преобразованием Фурье функции $E'_{см}(x_c, y_c)$, т.е.

$$K_{пр. см.}(f_x, f_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E'_{Т. на св. слое}(x_c, y_c) \exp(-j2\pi(f_x x_c + f_y y_c)) dx_c dy_c, \quad (21)$$

где f_y – пространственная частота изменения освещённости вдоль оси y ; $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица.

Для освещённости, изменяющейся только вдоль одной координатной оси, двойной интеграл (21) преобразуется в интеграл одной переменной, где используем функцию рассеяния линии (16). В результате получаем пространственную частотную характеристику:

$$K_{пр. см.}(f_x) = \frac{4}{\pi d_c^2} \int_{-\frac{d_c}{2}}^{\frac{d_c}{2}} \sqrt{d_c^2 - 4x_c^2} \cos(2\pi f_x x_c) dx_c \quad (22)$$

Очевидно, что пространственная частотная характеристика продольного смещения оптического изображения относительно светочувствительного слоя, получаемая с помощью интеграла (22), существенно отличается от рассчитываемой по формуле (5) (см. графики 1 и 2 на рис. 3).

На рис. 9 приведены примеры рассчитанных с помощью интеграла (22) пространственных частотных характеристик для различных диаметров d_c кружка рассеяния: 0,05; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01 мм.

Из рис. 9 видно, что нули функции $K_{пр. см.}(f_x)$, в отличие от расчётов по формуле (5), расположены не периодически. В рассматриваемом примере первая пространственная частота, при которой пространственная частотная характеристика $K_{пр. см.}(f_x)$ продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя равна нулю, примерно соответствует $\frac{1,22}{d_c}$ мм⁻¹. Пространственная частота, при которой функция $K_{пр. см.}(f_x)$ принимает значение второго нуля, смещена относительно частоты $\frac{1,22}{d_c}$ мм⁻¹ примерно на $\frac{1}{d_c}$ мм⁻¹. Каждый последующий ноль функции появляется при увеличении пространственной частоты примерно на $\frac{1}{d_c}$ мм⁻¹, причём, чем больше номер нуля функции $K_{пр. см.}(f_x)$, тем меньше интервал между пространственными частотами, соответствующими соседним нулям функции $K_{пр. см.}(f_x)$. Поэтому минимальные пространственные частоты, при которых

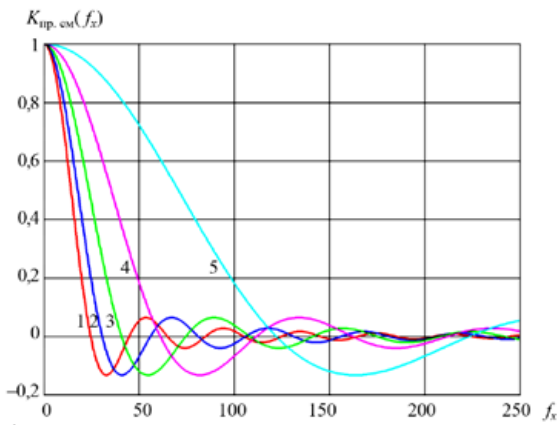


Рис. 9. Пространственные частотные характеристики продольного смещения оптического изображения относительно светочувствительного слоя:
 1 - $d_c = 0,05$ мм; 2 - $d_c = 0,04$ мм; 3 - $d_c = 0,03$ мм;
 4 - $d_c = 0,02$ мм; 5 - $d_c = 0,01$ мм

функция $K_{\text{пр. см.}}(f_x)$ принимает нулевые значения, в рассматриваемом примере могут быть приблизительно определены из уравнения

$$f_x^0 = \frac{1,22}{d_c} + \frac{n}{d_c}, \quad (23)$$

где n – целое число: 0, 1, 2, 3...

Пространственные частоты f_x^0 отфильтровываются при преобразовании оптического изображения, формируемого объективом, в оптическое изображение на поверхности светочувствительного слоя. Пример такой фильтрации представлен графиком 3 на рис. 7.

Отрицательные значения $K_{\text{пр. см.}}(f_x)$ (рис. 3) не соответствуют пространственным частотам, ограниченными интервалами (7).

В действительности пространственная частотная характеристика в той её части, которая имеет практическое значение, принимает отрицательные значения при пространственных частотах, расположенных в интервалах

$$\frac{1,22}{d_c} + \frac{k}{d_c} < f_x < \frac{1,22}{d_c} + \frac{k+1}{d_c}, \quad (24)$$

где k равно 0, 2, 4, 6...

Пример – график 4 на рис. 7, полученный при формировании объективом оптического изображения с освещённостью, изменяющейся по гармоническому закону согласно уравнению (19) с пространственной частотой 50 мм^{-1} и фазой $\varphi=0$ относительно начала координат и при диаметре кружка рассеяния в диапазоне $d_c=0,033 \text{ мм}$.

Таким образом, при наличии продольного смещения оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя, увеличение пространственной частоты приводит к постепенному снижению контраста и к реверсированиям контраста при прохождении через пространственные частоты f_x^0 . При этом

пространственная частотная характеристика $K_{\text{пр. см.}}(f_x)$ не зависит от исполнения светочувствительного слоя, который может быть реализован и как фотоэмульсия, и как фотоэлементы светочувствительной матрицы.

Заключение

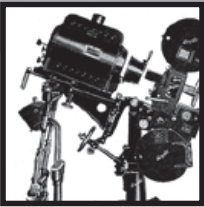
Продольное смещение оптического изображения, формируемого объективом при фото- или киносъёмке, относительно светочувствительного слоя матрицы или плёнки рассматривается как самостоятельное звено процесса записи изображений, аналогично другим звеньям съёмочного процесса, влияющим на качество записываемого изображения: объектив, плёнка, матрица, поперечный сдвиг оптического изображения относительно светочувствительного слоя при экспонировании кадра, и т.д.

Уточнена методика расчёта функции рассеяния точки, функции рассеяния линии и пространственной частотной характеристики, характеризующих продольное смещение оптического изображения, формируемого объективом, относительно светочувствительного слоя.

Автор выражает благодарность В.А. Сычёву за полезные замечания по содержанию статьи. ■

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Гребенников О.Ф. Киносъёмочная аппаратура. Л.: Машиностроение, 1971. 352 с.
2. Гребенников О.Ф. Основы записи и воспроизведения изображений (в кинематографе): учебное пособие для вузов кинематографии. М.: Искусство, 1982. 239 с.
3. Гребенников О.Ф., Тихомирова Г.В. Основы записи и воспроизведения информации (в аудиовизуальной технике): учебное пособие. СПб.: СПбГУКиТ, 2002. 712 с.
4. Гудмен Дж. Введение в Фурье-оптику. М.: Мир, 1970. 364 с.
5. Заказов Н.П., Кирюшин С.И., Кузичев В.И. Теория оптических систем. М.: Машиностроение, 1992. 432 с.
6. Кулагин С.В. Глубина резко изображаемого пространства / Фотокинетика. М.: Советская энциклопедия, 1981. С. 64.
7. Кулагин С.В. Проектирование фото- и киноприборов. М.: Машиностроение, 1976. 304 с.
8. Мудренов П.А. Методика определения фотографической разрешающей способности цифрового изображения / Инновационные технологии в кинематографе и образовании: IV Международная научно-практическая конференция, Москва, 26-29 сентября 2017 г.: Материалы и доклады / под общей редакцией О.Н. Раева. М.: ВГИК, 2017. С. 86–98.
9. Оптические приборы в машиностроении. Справочник. М.: Машиностроение, 1974. 238 с.
10. Перрен Ф. Методы оценки фотографических систем / Успехи физических наук. 1962. Т. LXXVIII. Вып. 2. С. 307–344.
11. Прикладная оптика: учебное пособие / под ред. Н.П. Заказова. 3-е изд. СПб.: Лань, 2009. 320 с.
12. Раев О.Н. Преобразование оптического изображения с периодическим изменением освещённости в кадре матрицей фото- и киноаппарата / Мир техники кино. 2018. №3(12). С. 11–17.
13. Раев О.Н. Разрешающая способность матриц фото- и киноаппаратов / Мир техники кино. 2018. №2(12). С. 3-8.
14. Раев О.Н. Способы оценки пространственного сдвига киноплёнки в киносъёмочной аппаратуре. Обзорная информация / НИКФИ. Кинофототехника. М., 1987. Вып. 1(92). М.: НИКФИ, 1987. 47 с.



РЕШЕНИЕ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ В ОПТИКЕ



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

Аннотация

Рассмотрен процесс решения изобретательских задач при создании оптических систем прикладного назначения. Проведено сравнение уровня качества некоторых изобретений. Приведены примеры расчёта оптических систем объективов, применяемых для различных задач, как в области кинотехники, так и в области медицины. Даны практические рекомендации по решению задач прикладной оптики.

Ключевые слова: изобретение, изобретательская задача, объектив, абберации, оптическая система, биомедицинская система, светодиод, лазер, оптимизация, пропускная способность.

■ Процесс создания конкурентоспособных оптических приборов может быть связан с процедурой решения изобретательской задачи, определяющей не только выбор правильной оптической архитектуры устройства, но и его материальное воплощение с последующим жизненным циклом изделия. Процедура эффективного и успешного решения изобретательской задачи связана со многими факторами (основные: наличие врождённых изобретательских способностей в сочетании с уровнем интеллекта и необходимым образованием, умение правильно пользоваться имеющейся в наличии системой мышления, умение перестраиваться на конкретную задачу, наличие подходящей внешней среды обитания и т.д.), причём наилучший результат достигается при их сочетании. Развитие численных методов

INVENTIVE PROBLEM SOLVING IN OPTICS

S. Biryuchinskiy, Ph.D, Prof., "Opto-mechanical Systems Limited", Russia

Abstract

Process of the inventive problems solving of optical systems design for applied applications is considered. Level of quality of some inventions were compared. Examples of optical system calculations of the lenses applied to various tasks both in the field of the film equipment, and in the field of medicine are given. Practical recommendations about problem solving of applied optics are given.

Keywords: Invention, inventive problem, lens, aberrations, optical system, biomedical system, LED, laser, optimization, bandwidth.

и компьютерных программных средств в области оптического расчёта и конструирования [например, 1–5] позволило упрощённо (и зачастую не всегда эффективно) решать изобретательские задачи в оптике широкому кругу лиц, не обременённых изобретательскими способностями и высоким уровнем интеллекта (задачу поиска лучшего решения берёт на себя компьютерная программа, а человек является всего лишь оператором). Данный фактор привёл к тому, что профессия рядового оптического инженера/дизайнера является относительно низкооплачиваемой во всём мире.

В литературе можно встретить описание различных методик по теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), предлагаемых авторами в виде обучающих курсов. Подобные методики являются разновидностями

мошенничества в сфере высоких технологий и зачастую вносят отрицательный вклад в развитие оптической отрасли. В качестве примера в [6] приведён патент, созданный таким автором, не обладающим даже базовым уровнем необходимых знаний в области светотехники. Рис. 1 иллюстрирует заявленное изобретение, которое относится к теме подсветки жидкокристаллического дисплея [6] на базе ламп с холодным катодом. Основная цель системы подсветки заключается в создании равномерного светового поля на выходе дисплея, причём не только по площади, но и по углу. Для этого в системе имеются рассеивающие отражатели и рассеиватели проходящего света. На рис. 1 под номером 300 обозначена лампа с холодным катодом, а под номером 310 показан рассеивающий элемент, нанесённый на лампу 300. Простой светотехнический анализ показывает не только отсутствие преимуществ по сравнению с существующими схемами по эффективности (отношение энергии выходного светового потока к затраченной энергии лампами), но и существенное ухудшение равномерности светового распределения на поверхности экрана за счёт эффекта увеличения поверхностной яркости источника (кроме того, произойдут дополнительные потери света при его рассеивании люминофором лампы). Таким образом, данный

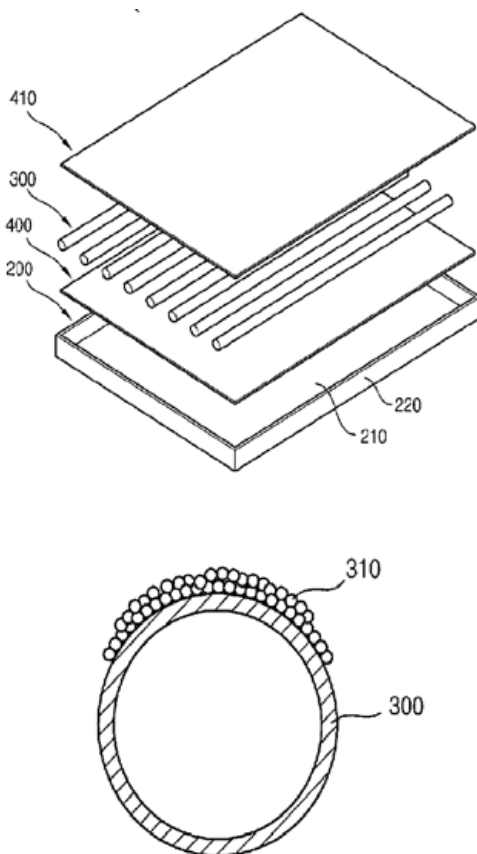


Рис. 1. Схема подсветки жидкокристаллического дисплея [6] на базе ламп с холодным катодом

Fig. 1. The scheme of a liquid-crystal display illumination [6] based on lamps with the cold cathode

патент является нерабочим и имеет рейтинг ниже «мусорного» уровня (т.к. может нанести существенный экономический ущерб).

Другим примером безграмотного изобретательского решения являются работы [7–9]. В патенте [7], рис. 2,а и статье [8], рис. 2,б, приводится описание и расчёт оптических схем объективов для мобильных телефонов. В обоих случаях в состав оптических систем входят дифракционные элементы, позволяющие по замыслу автора скорректировать аберрации, особенно хроматизм. По сравнению с предыдущим рассмотренным патентом [6], анализ предложенных систем не столь тривиален и потребовал проведения автором данной статьи полноценной экспертизы с проведением проверочного расчёта и оптимизации. В результате было выявлено большое количество признаков несостоятельности предложенных в [7,8] решений, в частности: не учтены главные недостатки дифракционной оптики, присутствует наличие «вырожденных» оптических поверхностей, наличие большого числа областей с большой кривизной и точками перегиба (приводит, в том числе, к появлению неустранимых бликов и трудностям в просветлении), что указывает на то, что оптимизация оптической системы произведена неверно, а именно: был найден лишь локальный оптимум, причём не самый лучший. Т.е. в данном случае мы видим умение авторов [7,8] пользоваться необходимым современным программным обеспечением по расчёту оптических систем в сочетании с непониманием критериев правильности проведённой работы. Для доказательства вышесказанного утверждения автором данной статьи был произведён расчёт оптической системы с аналогичными оптическими характеристиками (как габаритными, так и относящимися к качеству изображения). В результате расчёта была получена оптическая система (рис. 2,в), полностью идентичная авторской по фокусному расстоянию, углу поля зрения, относительному отверстию, дисторсии, качеству изображения, применяемым оптическим материалам (как указано в таблице авторов [8]). Однако оптическая система, рассчитанная автором данной статьи, содержит только четыре линзы, обладает широким спектральным диапазоном применения (базовый 0.43–0.68 мкм, может быть расширен) и, самое главное, не содержит никаких дифракционных элементов. Таким образом, объектив авторов [7,8] является не только не оптимальным, но и практически непригодным ни для каких камер (проигрывает существующим аналогам).

Довольно часто встречаются ситуации, когда необходимо решить изобретательскую задачу на локальном уровне с практической реализацией не только в пределах какой-то одной страны, но и в пределах возможностей производства изделия конкретным заводом-изготовителем [например, 10]. Подобные изобретения необходимы, например, для занятия доли на рынке, уже занятом аналогичным товаром, и не обязаны отличаться мировым уровнем значимости, а также обладать характеристика-

ми, превосходящими аналогичные устройства. Однако необходимыми критериями правильности решения здесь являются конструктивные отличия от аналогов (для патентной защиты) и низкая себестоимость производства изделия по заранее заданной технологии (как правило, в пределах одного предприятия).

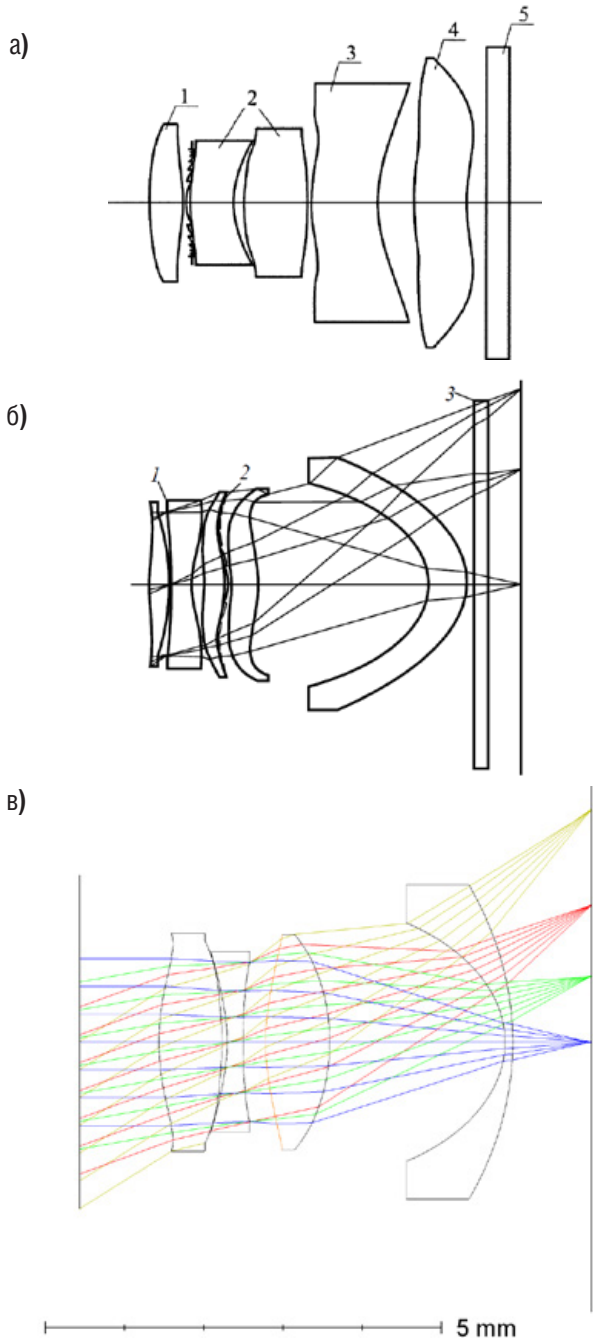


Рис. 2. Оптические схемы объективов для мобильных телефонов. Объектив [7] с голограммным оптическим элементом (а), объектив [8] с нанесённой дифракционной микроструктурой (б), объектив, рассчитанный автором без голографических элементов (в)

Fig. 2. Optical schemes for mobile phone lenses. A lens [7] with a holographic optical element (a), the lens [8] with a diffraction microstructure is applied (b), the lens calculated by the author without holographic elements (c)

Одним из примеров правильного решения изобретательской задачи из области оптимизации светодиодных источников света являются схемы, предложенные автором данной статьи для корпорации Samsung ElectroMechanics (Респ. Корея) в патентах [11–13]. Здесь, с целью повышения КПД светодиода (рис. 3,а и 3,б), было предложено нанесение на микрочип 2 рассеивающего слоя 3 (рис. 3,а) с целью эффективного вывода излучения из среды с большим показателем преломления в среду с меньшим. В патентах подробно описываются различные структуры рассеивающих слоёв (на рис. 3,б, в частности, показана структура из двух типов рассеивателей 11 и 13, состоящих из частиц разного диаметра), позволяющие не только эффективно выводить свет из микрочипа, но и учитывать его обратное рассеивание. Дополнительно приведены решения по структуре и принципам действия различных люминофоров в составе светодиода (рис. 3,а), позволяющие, например, добиться высокой цветовой равномерности свечения изделия в сочетании с высокой технологичностью и низкой себестоимостью производства.

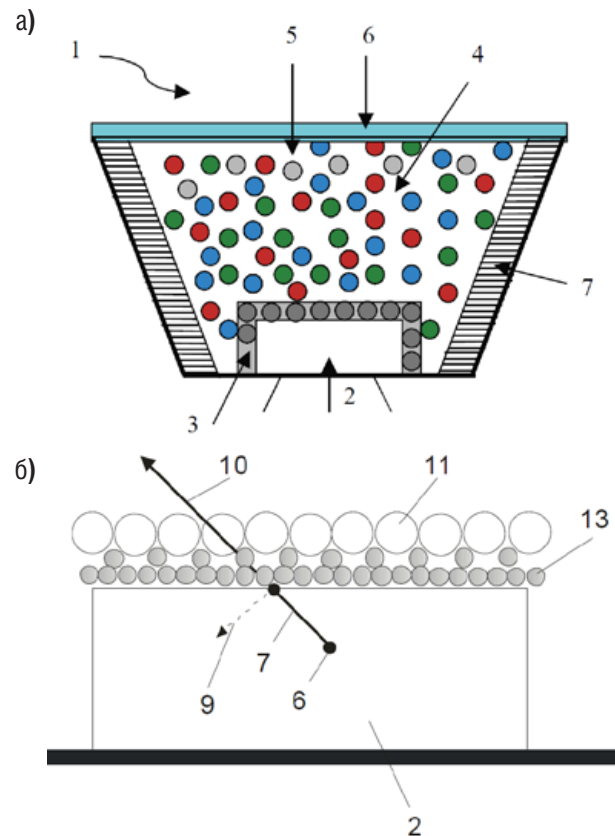


Рис. 3. Схема светодиода, разработанного автором, применяемого в системе подсветки клавиатур и жидкокристаллических дисплеев [11–13]: архитектура системы с люминофорами и рассеивающим слоем (а), структура рассеивающего слоя (б)

Fig. 3. The scheme of the light-emitting diode, developed by author, applied in system of liquid-crystal displays illumination [11–13]: architecture of system with phosphors and scattering layer (a), structure of a scattering layer (b)

Грамотно оформленный (по всем необходимым правилам патентования) патент на изобретение не является полной гарантией его защиты, и зачастую патентообладатели проигрывают, так как факт копирования решений из чужих патентов не только трудно доказать, но и зачастую остаётся незамеченным. Кроме того, часто возможны ситуации замены патента авторов компанией конкурентом. Например, с помощью внесения в копируемое изделие некоторых несущественных изменений (доказательство несущественности таких изменений, как правило, чрезвычайно сложно). Подобными изобретениями с низкой устойчивостью к копированию особенно отличались авторские свидетельства СССР, а также многие патенты РФ (написанные, как правило, в традициях максимально полного раскрытия сущности изобретения). К сожалению, наличие в открытой печати таких изобретений, несмотря на высокий научно-технический уровень значимости, на практике приводит к значительным убыткам и разрушению отрасли в данном месте. Здесь следует отметить, что из данного правила существует исключение. Решённую изобретательскую задачу допускается детально описать в патенте, если имеется специально разработанная технология производства патентуемого изделия, делающая бессмысленным сам процесс копирования.

С целью минимизации риска копирования патента изобретательская задача может быть решена таким образом, чтобы из текста патента невозможно было восстановить оптимальное решение, готовое к производству. Причём иногда в схему изобретения сознательно вносятся компоненты, препятствующие нормальной работе изделия. Одним из примеров подобной работы является патент автора данной статьи [14], оптическая схема которого приведена на рис. 4. На рисунке показано устройство для лазерной обработки биотканей человека, включающее в себя волоконный источник лазерного излучения 1, гомогенизатор 3 и волоконный приёмник 2. Именно данные

позиции в сочетании с описанной оптической системой надёжно обеспечивают патентную защиту без детального раскрытия сущности изобретения и его истинного оптимального решения. Как и любое другое изобретение, его можно механически скопировать с готового изделия, однако так как данное устройство проектировалось под конкретную технологию производства (естественно, не опубликованную), то такое копирование приведёт к созданию экземпляра более высокой себестоимости и с худшими характеристиками.

Иногда с целью построения эффективного решения изобретательской задачи в оптике необходимо параллельно совмещать решения в других областях, например, в биофизике. Примером подобного решения является первая в мире система лазерной сварки кровеносных сосудов человека, разработанная автором данной статьи для компании Vigitek Inc. (США) и показанная на рис. 5,а. Результат испытаний работы системы в виде экспериментально полученного сварочного шва показан на рис. 5,б.

В некоторых случаях решение изобретательской задачи необходимо достичь за счёт применения конструктивно простых и технологичных решений, но при этом с существенно лучшим результатом и обходящим аналогичные запатентованные решения. На рис. 6 показан пример такого устройства, предложенного автором данной статьи для компании Palomar Medical Technologies Inc. (США) и описанного в патенте [15]. В данном случае, именно сочетание всех необходимых факторов, описанных в начале статьи, эффективного решения изобретательской задачи позволило автору создать оптическую систему с нужной архитектурой и принёсшей патентообладателю значительную прибыль. Аналогичные рис. 6 устройства могут также применяться в качестве систем подсветки различных рассеивающих сред с целью профессиональной киносъёмки быстротекущих процессов в них (в том числе, и в формате 3D).

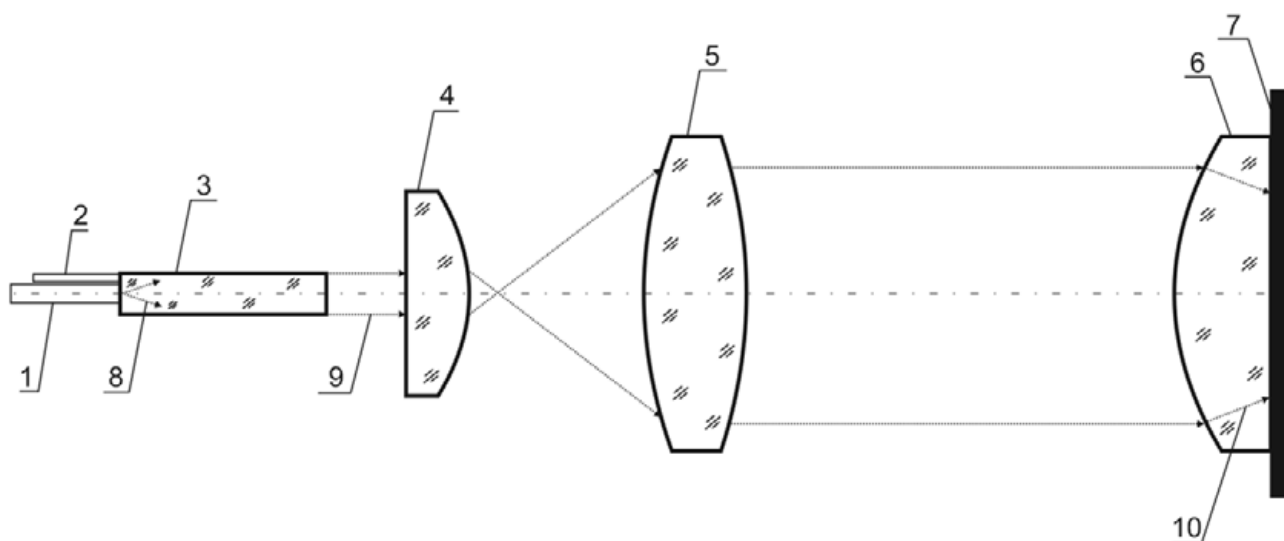


Рис. 4. Оптическая схема устройства, разработанного автором, для лазерной обработки биотканей человека [14]

Fig. 4. Optical scheme of the device, developed by author, for laser treatment of human biological tissues [14]

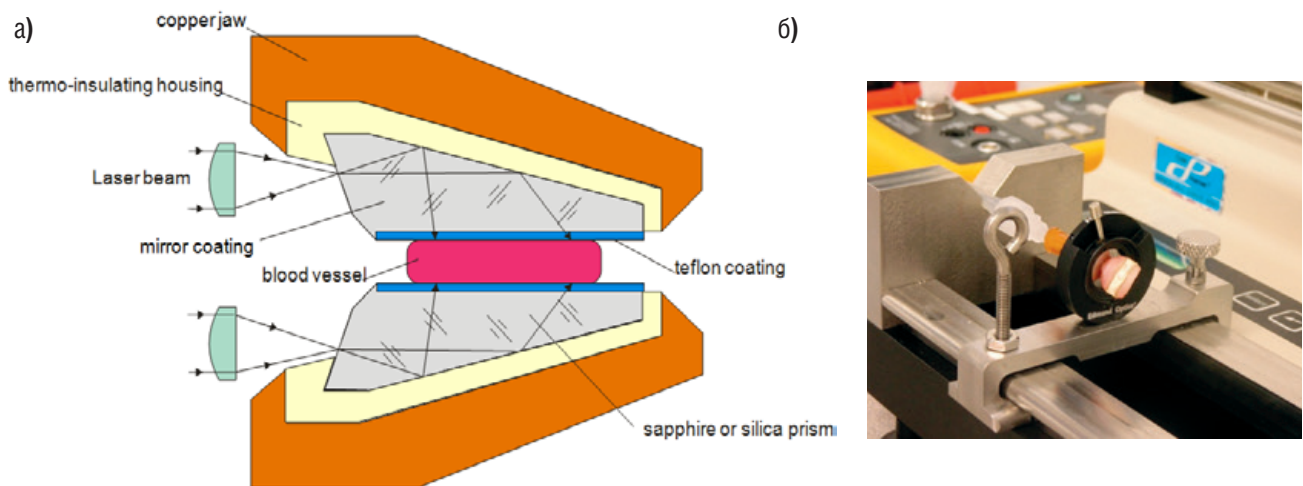


Рис. 5. Оптическая схема устройства, разработанного автором, для лазерной сварки кровеносных сосудов человека (а) и экспериментально полученный сварочный шов (б)

Fig. 5. Optical scheme of the device, developed by the author, for laser welding of human blood vessels (a) and experimentally received welding seam (b)

Другим примером решения изобретательской задачи с конструктивно простыми элементами являются разработки различных оптических биомедицинских устройств для совместной работы с мощными лазерами. Основная сложность в проектировании подобных систем заключается в возможном оптическом пробое воздуха или оптических сред при неудачном расположении оптических поверхностей (в том числе, за счёт обратного отражения даже от просветлённых поверхностей). На рис. 7 показана универсальная оптическая система, разработанная автором данной статьи, и решающая задачи как гомогенизации лазерного излучения (с переменным увеличением), так и создания матрицы

микроточек на облучаемой поверхности. Причём всё это достигается применением только одной матрицы микролинз (подобный результат достигнут впервые в мире). Рабочий вариант системы полностью свободен от нежелательных паразитных фокусировок и, соответственно, устойчив к возникновению оптического пробоя внутри прибора. По аналогии с патентом [15], подобная система может применяться как осветитель для исследования быстропротекающих процессов в различных средах.

Существует много примеров того, как классические теории и методы решения задач расчёта оптических систем (детально описанные в литературе в виде алгоритмов) не подходят для решения современных задач, например, построения архитектуры оптических систем для профессионального кинематографа. Одним из простых примеров такого решения является оптическая схема светосильного (1:1.2) кинообъектива, разработанного автором данной статьи, для съёмки в формате 4K и диагональю кадра 29 мм (фокусное расстояние 75 мм). Данный объектив рассчитан по оригинальной методике автора и превосходит все аналоги (эквивалентной сложности). Отличительной особенностью подобных схем автора является неизменность диагонали кадра при перефокусировке на конечные дистанции в сочетании с низкими остаточными aberrациями и относительно равномерной коррекцией изображения по всему полю.

Рассмотренные в данной работе примеры решения изобретательских задач в оптике были разработаны под конкретные поставленные задачи и, соответственно, не могут являться базовыми для предсказания решений при изменении исходных данных. Что касается патентования конкретных решений, во многих случаях оно не является обязательным для успешной реализации изделий (всё зависит от особенностей рынка в конкретной стране и степени технологической защиты). ■

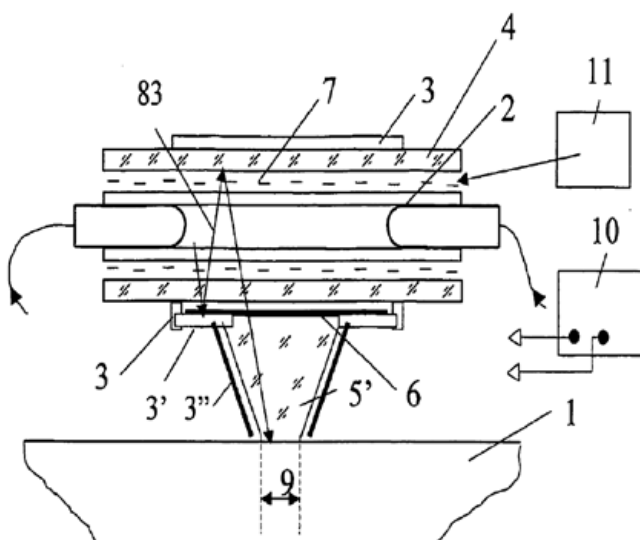


Рис. 6. Оптическая схема устройства, разработанного автором, для косметологии и фототерапевтических процедур на базе линейной ксеноновой импульсной лампы [15]

Fig. 6. Optical scheme of the device, developed by the author, for cosmetology and phototherapeutic procedures on the basis of a linear xenon pulse lamp [15]

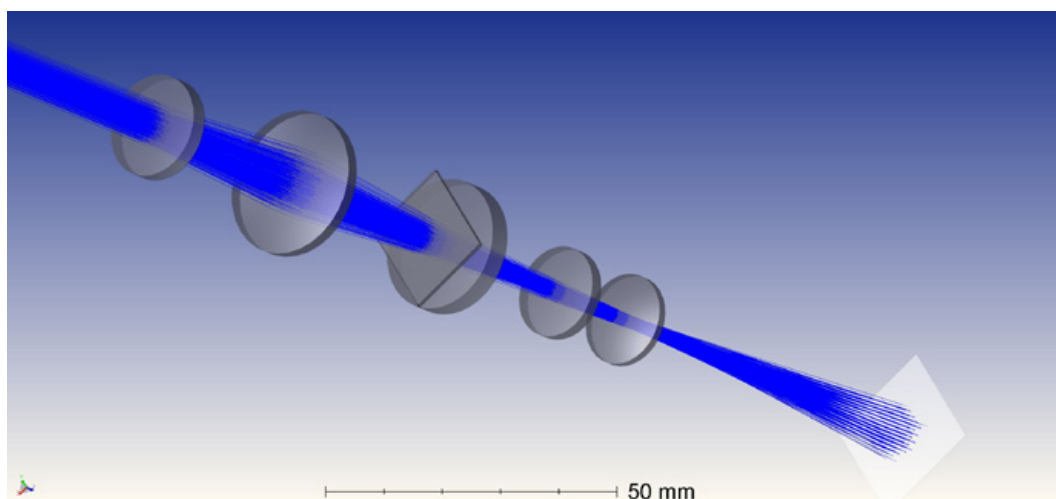


Рис. 7. Оптическая схема лазерного оконечного устройства, разработанного автором, для косметологии и фототерапевтических процедур с эффектом гомогенизации и создания матрицы микроточек

Fig. 7. Optical scheme of the laser handpiece, developed by the author, for cosmetology and phototherapeutic procedures with effect of homogenization and creation of a microspot matrix

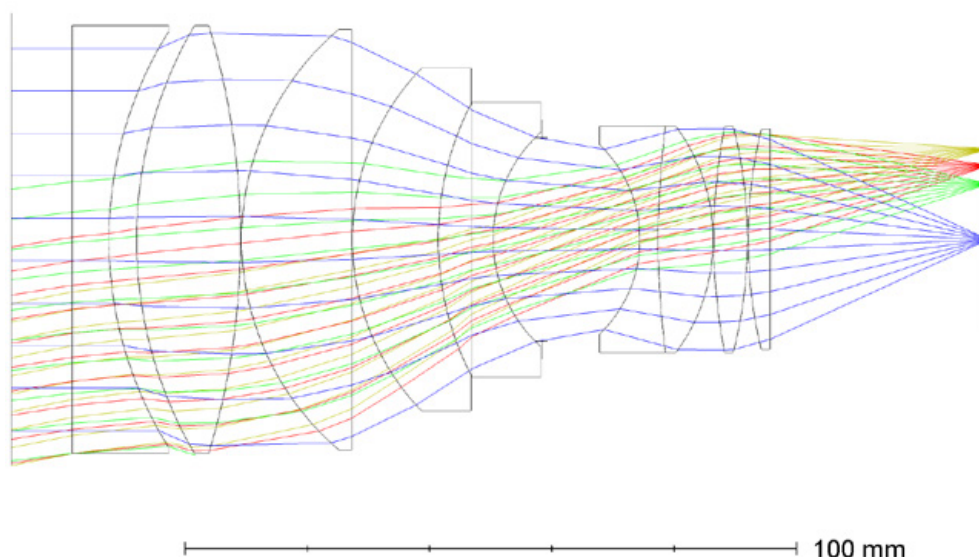


Рис. 8. Оптическая схема светосильного (1:1.2) кинообъектива, разработанного автором, для съёмки в формате 4K и диагональю кадра 29 мм

Fig. 8. The optical scheme of high-aperture (1:1.2) film lenses, developed by the author, for shooting in a format 4K and with an image diagonal 29 mm

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Milton Laikin, "Lens Design", Fourth Edition, CRC Press 2006.
2. Rudolph Kingslake, R. Barry Johnson: Lens Design Fundamentals, Academic Press is an imprint of Elsevier, 2010.
3. 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).
4. Бирючинский С.Б. Моделирование и оптимизация архитектуры оптических систем для современного кинематографа / Мир Техники Кино. – 2015. – № 37.
5. Elvira Rachim et al, Preliminary of Optical Lens Design for Micro-Satellite, 2017 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 54 012095.
6. Патент Респ. Корея: KR20070002153A.
7. Патент РФ: № 2464600С2.
8. Г.И. Грейсух, Е.Г. Ежов, С.В. Казин, С.А. Степанов. Однослойные киноформные элементы для фото- и видеокамер мобильных устройств, Компьютерная оптика, 2017, том 41, №2.
9. Патент РФ: № 2584382.
10. Патент РФ: № 46110U1.
11. Патент Респ. Корея: KR100649762(B1), 2006.
12. Патент Респ. Корея: KR20070065486(A), 2007.
13. Патент Респ. Корея: KR100714581(B1), 2007.
14. Патент РФ: № 184163U1.
15. Патент США: US 2007/0027440 A1.



ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И НОРМАТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К цифровой кинотеатральной демонстрации фильмов



В.А. Сычёв, ктн, ssytchov@mail.ru, Д.Г. Чекалин, chekalinnikfi@mail.ru,
Филиал «Научно-исследовательский кинофотоинститут»
АО ТПО «Киностудия им. М.Горького», РФ

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы обеспечения технического качества кинотеатральной демонстрации цифровых фильмов.

Рассмотрено современное состояние нормативно-технического обеспечения в отечественной кинематографии. Описаны результаты проделанной работы по переводу международных стандартов и разработке на их основе методики по измерению и контролю параметров технического качества изображения и звука при цифровом кинопоказе. Обозначены задачи дальнейшего развития нормативно-технического регулирования в отрасли.

Ключевые слова: Кинематография, цифровое кино, международный стандарт, контроль технического качества, цифровой кинопоказ, цифровой тест-фильм, прокатный мастер цифрового фильма (DCDM), цифровая прокатная фильмокопия (DCP).

Введение

Демонстрация фильма в кинотеатре является заключительным и самым главным событием для кинопроизведения, и на этом этапе одним из определяющих факторов, непосредственно влияющих на восприятие и

TECHNICAL PARAMETERS AND NORMATIVE REQUIREMENTS FOR D-CINEMA THEATRICAL DEMONSTRATION

V. Sytchov, ssytchov@mail.ru, Ph.D, D. Chekalin, chekalinnikfi@mail.ru, NIKFI Cinema and Photo Research Institute JSC "Gorky Film Studio", Russia

Abstract

The scope of this article is to describe the state of D-cinema standardization. The study was done to establish the package of standards necessary for D-cinema quality assessment. The package was translated into Russian and adopted technique was elaborated for measuring and control of image and sound parameters of D-cinema theatrical demonstration. First edition of D-cinema terminology and acronyms vocabulary was prepared. The following steps for technical regulation are discussed.

Keywords: Cinematography, digital cinema, international standard, technical quality control, digital theatrical demonstration, digital test film, Digital Cinema Distribution Master (DCDM), Digital Cinema Package (DCP).

оценку зрителями кинофильма, становится техническое качество кинотеатрального показа. В процессе демонстрации в кинотеатре необходимо донести до зрителя кинопроизведение в том виде, в каком оно было задумано и создано авторами, и обеспечить идентичность и со-

поставимость результатов во всех кинозалах. Добиться этого возможно только при условии соблюдения единых стандартизованных требований к технике и технологии кинопоказа и обеспечения соответствующих методов контроля. Просмотр кинофильмов в случае несоблюдения нормированных параметров может приводить к дискомфорту восприятия, повышенной утомляемости, а в отдельных случаях отрицательно сказываться на здоровье зрителей. Так, влияние на утомляемость во время кинопоказа оказывают: уровень яркости киноэкрана, резкость экранного изображения, угол зрения, уровень громкости, разборчивость звучания и т.д. Необходимые технические требования должны учитываться уже на стадии архитектурного проектирования и далее соблюдаться на всех этапах создания кинотеатров и в процессе их последующей эксплуатации.

В начале 2000-х годов в кинотеатральной индустрии произошла глобальная цифровая революция – в развитых странах кинопоказ был полностью переведён на цифровую технологию. Потребовалась замена всего проекционного оборудования, в значительной степени модифицировалось звуковоспроизведение, была трансформирована система кинопроката (дистрибуция). В нашей стране к настоящему моменту осуществлён практически полный переход системы кинотеатрального показа на цифровую технологию, в результате чего нормативно-техническая база кинематографии, включающая ГОСТы, ОСТы, РТМ, РД и Рекомендации, сформированная для плёночной технологии, оказалась неприменимой к новым условиям и требованиям цифрового кинопроката.

Вопросы и проблемы, связанные с принципиальными отличиями и особенностями цифровой кинотеатральной демонстрации фильмов, и необходимость разработки соответствующих технических требований достаточно освещались в научных работах и публикациях [1-7], однако, никаких национальных технических нормативов или рекомендаций в нашей стране до сих пор не существует. Работа по определению требований к цифровой кинотеатральной демонстрации фильмов и созданию соответствующей нормативно-технической базы необходима, поскольку обеспечение качественного показа кинофильмов в соответствии с нормативными документами является прямым требованием российского законодательства, что определено в Постановлении Правительства РФ «Об утверждении Правил по киноvideообслуживанию населения» [8]. В этом году такая работа началась. НИКФИ по заказу Министерства культуры РФ выполнил работу «Формирование требований к цифровой кинотеатральной демонстрации фильмов и подготовка методических рекомендаций по их применению», основные результаты которой кратко изложены в данной статье.

Нормативно-техническая документация в области цифровой кинематографии

Цифровая революция и процесс замещения традиционной плёночной технологии кинотеатральной демон-

страции начался в 2002 году, и в достаточно сжатые сроки в основных развитых странах произошла полная смена технологий. Инициатором процесса стал консорциум DCI (Digital Cinema Initiatives) ведущих мировых киностудий: Metro-Goldwyn-Mayer, Paramount Pictures, Sony Pictures Entertainment, 20th Century Fox, Universal Studios, The Walt Disney Company и Warner Bros., созданный «с целью создания и документирования добровольных спецификаций для открытой архитектуры цифрового кино, которая обеспечивает единообразный и высокий уровень технической эффективности, надёжности и контроля качества» [9]. В результате работы консорциума была разработана и в 2005 году опубликована многостраничная Спецификация DCI (Digital Cinema System Specification), которая регулярно дорабатывается и дополняется (в настоящий момент действующей является версия 1.3 [10]). В этом документе определены основные характеристики цифрового кино (Digital Cinema).

Продвижение новой технологии среди производителей оборудования и владельцев кинотеатров требовало дополнительной авторитетной поддержки со стороны профессионального сообщества, и частная инициатива голливудских студий была поддержана Обществом инженеров кино и телевидения (SMPTE), опубликовавшем в 2006 году первый пакет стандартов для цифрового кино под рубрикой Digital Cinema. Полная перестройка технологии кинотеатрального показа потребовала дополнительных технических гарантий для участников процесса. Было необходимо обеспечить единообразие технологических процессов и взаимную совместимость оборудования различных разработчиков и производителей. Поэтому в 2008 году первый пакет цифровых стандартов SMPTE для цифрового кино (Digital Cinema) был в ускоренном порядке (без каких-либо изменений и корректировок) принят Международной организацией по стандартизации (ISO) в качестве международных стандартов. В последующие годы список стандартов ISO расширился и продолжает пополняться в настоящее время. Работа по стандартизации цифрового кинематографа активно продолжается и ещё далека от завершения. Кроме стандартов ISO в цифровом кино также используются стандарты Международной электротехнической комиссии (IEC) и Международной комиссии по освещению (CIE), но они являются вспомогательными и посвящены узким технологическим процессам или приборам и методам измерений (например, IEC 60958-3, IEC 60958-1-2014, CIE Publication 15:2004). В некоторых странах разрабатываются национальные стандарты по отдельным разделам цифрового кино, так Германия и Китай предложили свои национальные стандарты для рассмотрения их в ISO с целью принятия на их основе международных стандартов.

Одновременно и параллельно проводятся работы по разработке технологий и стандартизации цифрового изображения и звука в телевидении, наиболее активно в этом направлении продвигаются Международный союз

электросвязи (ITU) и SMPTE. Однако в случае телевизионных цифровых форматов применяются принципиально другие, чем в кино, подходы. Основное внимание уделяется задаче оптимизации и минимизации передаваемых цифровых потоков, для чего применяются алгоритмы сжатия с потерями. Необратимое ухудшение качества при этом считается допустимым и, как следствие, телевизионные форматы значительно отличаются от форматов цифрового кино. Фильмы, созданные по технологии цифрового кино, могут конвертироваться в телевизионные форматы, обратное преобразование возможно только с определённой потерей качества.

Современные технологии демонстрации цифровых фильмов и специфика цифрового кино

В цифровом кинопроизводстве определены три основные последовательные стадии создания фильма: Digital Source Master (DSM), Digital Cinema Distribution Master (DCDM), Digital Cinema Package (DCP). Перевод и определения этих терминов приведены в таблице 1.

ские требования к ним регламентированы стандартами, что позволяет обеспечить совместимость с кинотеатральным оборудованием и добиться одинаковых условий демонстрации и качества кинопоказа в разных кинозалах.

При переходе кинотеатрального показа на цифровую технологию цифровые системы подстраивались под существующие экранные киноформаты. Формат проекционной матрицы цифрового проектора имеет соотношение сторон 1,9:1, и, несмотря на кажущуюся целесообразность перевода кинопроизводства именно к такому соотношению сторон, до настоящего момента фильмы в «чистом» цифровом формате не снимаются, и продолжают использоваться традиционные, получившие наибольшее распространение киноформаты с соотношением сторон изображения 2,39:1 и 1,85:1.

Существенным отличием цифрового показа от плёночного является необходимость контролировать и возможность настраивать параметр цветности в цифровом проекторе.

Табл. 1. Термины и определения цифровых фильмовых материалов

Английский термин (обозначение)	Русский перевод термина (обозначение)	Определение
Digital Source Master (DSM)	Цифровой Исходный Мастер (DSM)	Окончательный продукт цифрового фильмопроизводства, в котором заложены все монтажные и цветовые решения создателей фильма. Из исходного цифрового мастера делают различные прокатные версии (например, плёночный контратип, прокатный мастер цифрового фильма DCDM, мастер для домашнего видео, эфирная или вещательная версия фильма).
Digital Cinema Distribution Master (DCDM)	Прокатный Мастер Цифрового Фильма (DCDM)	Окончательная версия фильма, некомпьютеризованное цифровое представление контента для кинотеатрального показа в формате цифрового кино (D-Cinema). Соответствует стандартам ISO серии 428. Изображение представлено в координатах X'Y'Z', получаемых в результате цветового кодирования аппаратно независимых цветовых координат XYZ. DCDM включает все творческие решения, сделанные в процессе мастеринга. Характеристики и параметры фильма далее не будут подвергаться какой-либо обработке до процессов сжатия и шифрования на этапе создания DCP.
Digital Cinema Package (DCP)	Цифровая Прокатная Фильмокопия (DCP)	Полный комплект файлов, содержащий все компоненты кинофильма, предназначенные для распространения и демонстрации в кинотеатрах формата цифрового кино (D-Cinema), с изображением, сжатым алгоритмом JPEG2000. Для защиты контента от несанкционированного доступа применяется шифрование. Соответствует стандартам ISO серии 429.

Технические требования к Цифровому исходному мастеру (DSM) в международных стандартах в настоящий момент не определены и предполагается, что они выбираются производителем фильма в зависимости от применяемых в процессе фильмопроизводства технологий и оборудования, от назначения фильма, бюджета и других факторов.

Прокатный мастер цифрового фильма (DCDM) и Цифровая прокатная фильмокопия (DCP) предназначены для коммерческого показа в кинотеатрах. Техниче-

Звукоспроизведение в цифровом кино также отличается от плёночного. Во-первых, в цифровом кино обеспечена возможность воспроизведения 16-ти звуковых каналов. Во-вторых, все каналы имеют полнодиапазонный частотный спектр и сохраняются без компрессии с квантованием 24 бита на отсчёт и частотой дискретизации 48 или 96 кГц. При этом появляется необходимость дополнительной настройки синхронизации изображения и звука в кинозале, что в плёночном кино достигалось автоматически.

При контроле параметров изображения для цифрового кино необходимы методы измерения новых параметров и внесение изменений и дополнений в практические методики. В звуковоспроизведении параметры и методы контроля схожи с плёночным кинематографом, но требуется коррекция номинальных величин измеряемых параметров и их допустимых отклонений.

Международные стандарты ISO по цифровому кино

Для создания национальной нормативно-технической базы цифрового кино наибольший интерес представляют международные стандарты Международной организации по стандартизации (ISO). В эти стандарты входят уже апробированные практики и разработки. Они признаны во всём мире и имеют наибольшее распространение, высокий статус и авторитет. Наша страна является полноправным членом профильного технического комитета ISO TC 36 «Кинематография», мы обладаем правом и возможностью принимать международные стандарты ISO в качестве национальных стандартов без изменений или с внесением определённых коррективов в форме модифицированного стандарта.

На основе действующих стандартов ISO сформирован комплект первоочередных документов, определяющих параметры цифровых фильмовых материалов, предназначенных для кинотеатрального воспроизведения, и параметры качества цифровой кинотеатральной проекции, таблица 2. Комплект состоит из 3 стандартов по параметрам изображения [11–13] и 6 стандартов по параметрам звука [14–19]. Входящие в комплект стандарты определяют основные понятия и параметры цифрового кинопоказа и могут служить основой для формирования национальной нормативной базы. Комплект стандартов переведён на русский язык и подготовлен в соответствии с требованиями Росстандарта.

Словарь терминов и аббревиатур цифрового кино

В процессе развития цифрового кинематографа появился целый класс терминов и определений, соответствующих новой технологии. Необходим терминологический аппарат, адаптированный и соответствующий национальным условиям. Без специальной терминологии невозможны и разработка технической документации, и создание национальной нормативной базы.

Табл. 2. Комплект первоочередных стандартов ISO по цифровому кино

№	Номер стандарта ISO	Наименование стандарта	Наименование стандарта
1	2969:2015	Кинематография — Электроакустическая частотная характеристика цепи В залов прослушивания и крытых кинотеатров — Технические характеристики и измерения	Cinematography – B-chain electro-acoustic reponse of motion-picture control rooms and indoor theatres – Specifications and measurements
2	9568:1993	Кинематография – Уровень фонового акустического шума в кинотеатрах, просмотровых залах и студиях перезаписи	Cinematography – Background acoustic noise levels in theatres, review rooms and dubbing rooms
3	21727:2016	Кинематография — Метод измерения громкости фонограмм короткометражных фильмовых материалов	Cinematography -- Method of measurement of perceived loudness of short duration motion-picture audio material
4	22234:2005	Кинематография – Относительный и абсолютный уровни звукового давления для многоканальных звуковых систем в кино – Методы измерения и уровни воспроизведения аналоговых и цифровых плёночных фонограмм и фонограмм цифровых фильмов	Cinematography – Relative and absolute sound pressure levels for motion-picture multi-channel sound systems – Measurement methods and levels applicable to analog photographic film audio, digital photographic film audio and D-cinema audio
5	26428-1:2008	Прокатный мастер цифрового фильма (DCDM) – Часть 1: Характеристики изображения	Digital cinema (D-cinema) distribution master – Part 1: Image characteristics
6	26428-2:2008	Прокатный мастер цифрового фильма (DCDM) – Часть 2: Характеристики фонограммы	Digital cinema (D-cinema) distribution master – Part 2: Audio characteristics
7	26428-3:2008	Прокатный мастер цифрового фильма (DCDM) – Часть 3: Расположение и обозначение звуковых каналов	Digital cinema (D-cinema) distribution master – Part 3: Audio channel mapping and channel labeling
8	26428-11:2011	Прокатный мастер цифрового фильма (DCDM) – Часть 11: Дополнительные частоты кадров	Digital cinema (D-cinema) distribution master – Part 11: Additional frame rates
9	26431-1:2008	Качество цифрового кино – Часть 1: Яркость, цветность и равномерность экрана	Digital cinema (D-cinema) quality – Part 1: Screen luminance level, chromaticity and uniformity

В переводах стандартов вводятся технические термины и аббревиатуры, для которых нет общепринятых аналогов в русском языке, поэтому такие термины были собраны в «Словарь терминов и аббревиатур цифрового кино». Словарь содержит как сами термины и их переводы, так и их толкование.

Словарь является результатом проработки терминологического аппарата в процессе перевода стандартов на русский язык с учётом адекватности смыслового содержания, возможно большей приближенности перевода к оригиналу, а также сложившейся практики применения терминов в национальной технической литературе и в производстве. В словарь включены термины и сокращения, использованные в переведённых стандартах. Для цифровых кинематографических технологий в русском языке практически отсутствуют общепринятые аналоги английских сокращений. Чтобы избежать путаницы и введения в оборот новых терминов, было принято решение оставить сокращения и аббревиатуры на языке оригинала. При наличии устоявшихся русских аббревиатур либо транслитераций использованы русскоязычные версии терминов. По мере расширения нормативной базы по цифровому кинематографу словарь должен дополняться новыми терминами. Он представляет первую редакцию справочного материала, необходимого как в кинопроизводстве, так и при обучении по техническим кинематографическим специальностям. Словарь опубликован на сайте Филиала «Научно-исследовательский кинофотоинститут» АО «ТПО «Киностудия им. М.Горького» (nikfi.ru). Все заинтересованные участники кинематографического сообщества могут вносить предложения по дополнению словаря или исправлению переводов терминов или их толкования.

Методика по измерению и контролю технических параметров цифрового кинопоказа

Для практического применения стандартов и проведения измерений и контроля параметров технического качества изображения и звука при цифровом кинопоказе разработана технологическая методика.

Методика разработана на основе стандартов Международной организации по стандартизации (ISO) и некоторых документов Общества инженеров кино и телевидения (SMPTE) и включает номинальные значения и допустимые отклонения контролируемых параметров, а также методы и средства их измерения. Средства измерения включают в свою очередь измерительное оборудование и тестовые материалы.

Методика состоит из двух основных разделов, описывающих измерение технических параметров изображения и звуковоспроизведения. Измерения проводятся

при воспроизведении киноустановкой зала специальных тест-фильмов.

По мере расширения отечественной базы нормативных документов методика будет дополняться новыми разделами с тем, чтобы полностью охватить все технические параметры, определяющие качество цифрового кинопоказа. Методика может применяться и быть востребована при проектировании и строительстве просмотровых и кинотеатральных залов; для инсталляции, монтажа и настройки оборудования; при установлении требований к кинозалам; при оперативном и аттестационном контроле технического качества кинопоказа.

Изображение: яркость, цветность, равномерность, контраст.

В разделе приводятся условия измерения, в том числе требования к проекции, точкам измерения на экране, позиции измерения в зале и характеристики измерительных приборов. Измеряться должны следующие технические характеристики: яркость, равномерность яркости экрана, цветность белого и равномерность цветности белого.

В подразделе «дополнительные данные» приводятся рекомендации для определения засветки и внутрикадрового и последовательного контраста.

Измерения проводятся с помощью проецируемых на экран тест-фильмов с испытательными таблицами. Пример изображений испытательных таблиц приведён на рисунке 1.

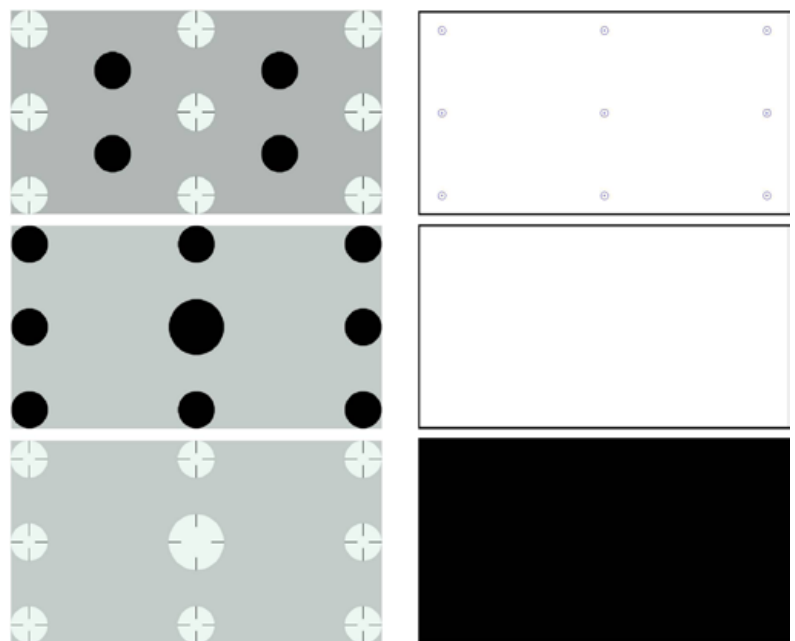


Рис. 1. Испытательные таблицы для формата: 1,85:1 с разрешениями 2К

Звуковоспроизведение

Эта часть Методики посвящена качеству кинотеатрального звуковоспроизведения и состоит из пяти разделов, соответствующих основным техническим характеристикам воспроизведения звука, регламентированным международными стандартами ISO по кинематографии.

Контролируемыми параметрами являются: контроль коммутации каналов; уровень фонового акустического шума; электроакустическая частотная характеристика; уровни звукового давления для многоканальной звуковоспроизводящей системы.

Раздел «**Расположение и обозначение звуковых каналов, контроль коммутации каналов**» определяет расположение и обозначение для 16-ти звуковых каналов прокатного мастера цифрового фильма (DCDM) для аудио системы цифрового кинотеатра, позволяет обеспечить связь исходных звуковых каналов с громкоговорителями в зале и соответствует стандартам ISO 26428-3:2008 [19] и AES3-2003 [20]. Часть из описанных каналов в настоящее время не используется и предназначена для перспективного развития. Контроль коммутации каналов осуществляется из зоны прослушивания с помощью тест-фильма по дикторским объявлениям о назначении каждого канала через громкоговорители зрительного зала, на которые поочередно подаётся соответствующий сигнал.

В разделе «**Уровень фонового акустического шума**» приводится методика, которая позволяет выполнить измерения и оценку уровней внешнего фонового звукового давления в кинотеатрах, просмотровых залах и студиях перезаписи. Для анализа результатов используются кривые критериев шума, по которым проводится NC оценка.

В разделе «**Электроакустическая частотная характеристика**» определяются методы измерения электроакустической частотной характеристики цепи В звукового тракта студий перезаписи, просмотровых залов и крытых кинотеатров с объёмом более 125 м³, что позволяет обеспечить постоянство громкости и частотной характеристики в разных залах и в разных позициях внутри зала. Электроакустическая частотная характеристика цепи В должна измеряться с использованием в качестве источника сигнала генератора широкополосного розового шума, подключаемого к входному регулятору цепи В, или при помощи цифрового тест-фильма с записью сигнала широкополосного розового шума, а в качестве приёмника звука – измерительного микрофона и спектроанализатора.

В разделе «**Относительный и абсолютный уровни звукового давления для многоканальных звуковых систем**» определяются методы измерения и уровни давления широкополосного звука для залов прослушивания, просмотровых залов и крытых кинотеатров. В качестве источника звука используется цифровой тест-фильм с поочередной поканальной записью сигнала широкополосного розового шума.

В разделе «**Метод измерения громкости фонограмм короткометражных фильмовых материалов**» приводится метод оценки субъективной громкости рекламных роликов и трейлеров. Предлагаемый метод предназначен для помощи в оценке субъективной громкости звука кинофильма так, чтобы поддерживалось наилучшее соответствие между уровнями звука рекламы, трейлеров и основного фильма.

Номенклатура контролируемых параметров

В работе рассмотрены нижеприведённые параметры, определяющие техническое качество цифровой кинотеатральной демонстрации фильмов, регламентируемые действующими международными стандартами ISO для цифрового кино:

Параметры изображения:

- яркость белого поля;
- равномерность яркости экрана;
- цветность белого поля;
- равномерность цветности экрана;
- уровень засветки киноэкрана;

Параметры звуковоспроизведения:

- контроль коммутации каналов;
- уровень фонового акустического шума;
- электроакустическая частотная характеристика;
- уровни звукового давления для многоканальной звуковоспроизводящей системы.

Сформированный перечень технических требований и параметров технического качества цифрового кинопоказа не является полным и достаточным. Невыполнение требований к вышеприведённым параметрам однозначно ведёт к ухудшению качества кинодемонстрации, однако соответствие всем этим параметрам не может гарантировать зрителям идеального качества, а при определённых условиях качество просмотра может оказаться неприемлемым. Причиной этого является стандартизация на текущий момент не всех необходимых параметров. Следует выделить следующие дополнительные необходимые для контроля параметры:

- разрешающая способность проекционной системы;
- относительная засветка посторонним и отражённым светом;
- засветка экрана посторонним светом;
- последовательный контраст;
- внутрикадровый контраст
- размеры и расположение проецируемого поля изображения относительно экрана;
- геометрические искажения изображения;
- синхронность звука и изображения;
- время реверберации;
- индекс разборчивости речи;
- индекс ясности музыки.

Для некоторых из этих параметров существуют методики и в ряде случаев национальные стандарты, которые уже обсуждаются на международных форумах для принятия их в качестве стандартов ISO.

Состав стандартизованных на сегодняшний день параметров является необходимым, но не является достаточным и требует расширения для формирования полного комплекта требований, гарантирующих качественный кинопоказ. При этом некоторые параметры, например, параметры зрительного зала, в принципе не рассматриваются в международных стандартах и определяются национальными нормативными документами. Отдельного внимания заслуживают нормативные требования к пока-

зу стереоскопических (3D) фильмов, имеющих дополнительные специфические особенности.

Необходимо продолжение работы и проведение исследований, чтобы дополнить разработанную Методику недостающими техническими параметрами и сформировать полный и достаточный набор технических требований и методов контроля цифровой кинотеатральной демонстрации фильмов.

Заключение

В результате проведённой работы получены следующие результаты:

1) Осуществлён перевод на русский язык 9-ти международных стандартов ISO, определяющих параметры цифровых фильмовых материалов и требования к кинотеатральной проекции цифровых фильмов.

2) Разработана первая редакция словаря основных терминов и аббревиатур, применяемых в технологии цифрового кинопоказа.

3) На основе требований международных стандартов ISO разработана Методика по измерению и контролю параметров технического качества изображения и звука при цифровом кинопоказе. Методика включает спецификацию параметров (номенклатуру, номинальные значения, допустимые отклонения), методы измерения, требования к измерительному оборудованию и тестовым сигналам.

4) Для обеспечения измерения и контроля технических параметров цифровой кинотеатральной демонстрации фильмов разработаны и изготовлены необходимые цифровые тестовые материалы для основных форматов цифрового кинематографа.

5) В ходе проведения работы было выявлено, что сформированный на основе международных стандар-

тов ISO перечень технических требований и параметров технического качества цифрового кинопоказа является необходимым, но не является достаточным. Требуется продолжение работы и проведение исследований, которые позволят дополнить разработанную в рамках данной работы Методику недостающими техническими параметрами и сформировать полный и достаточный набор технических требований и методов контроля цифровой кинотеатральной демонстрации фильмов.

б) Разработанные технические и нормативные материалы, цифровые тесты и практическая «Методика по измерению и контролю технических параметров цифрового кинопоказа» предназначены и могут применяться в первую очередь в кинотеатрах и просмотровых залах, в том числе студийных. Технические требования и параметры качества необходимы на следующих технологических этапах:

- проектирование кинозалов,
- комплектация оборудования,
- инсталляция и пуско-наладка оборудования,
- текущая эксплуатационная проверка, настройка и регулировка оборудования,
- инспекционный (аттестационный) контроль.

Однако сфера применения разработанных методик и материалов значительно шире. Технические требования к кинопоказу и прокатному мастеру цифрового фильма в неявном виде определяют требования и к фильмопроизводству, и к архивному хранению цифровых фильмов. Эти требования должны использоваться при разработке технических заданий на проведение кинематографических мероприятий с государственной финансовой поддержкой. Они могут быть применимы, полезны и востребованы для решения многих других задач в различных областях киноиндустрии. ■

ПРИЛОЖЕНИЕ.

Словарь терминов и сокращений

Настоящий словарь представляет собой перечень кинематографических терминов и их определений, которые являются характерными для цифрового кино и/или приведены в разделах «термины и определения» международных стандартов по технологии цифрового кинопоказа. Толкования терминов даны в соответствии с их определением в стандартах ISO и SMPTE по цифровому кино и в соответствии со сложившейся национальной практикой. В тех случаях, когда английские аббревиатуры уже широко используются в национальном кинопроизводстве, и с целью удобства международного взаимодействия и обмена киноматериалами, на русский язык переводится толкование сокращения, а аббревиатуры остаются в оригинальном виде без перевода на русский язык и транслитерации.

№	Английский термин (обозначение)	Русский перевод термина (обозначение)	Определение
1	Additional Frame Rate (AFR)	Дополнительная частота кадров (AFR)	Допустимые частоты кадров для цифрового кино в дополнение к основным частотам 24 и 48 кадров в секунду
2	Ambient light	Внешний свет	Свет, отражённый от экрана кинотеатра, исходящий от источников, не связанных с проектором, таких как указатели выхода, подсветка ступеней и т.п.

№	Английский термин (обозначение)	Русский перевод термина (обозначение)	Определение
3	Center surround (Cs)	Центральный окружения (Cs)	Ряд громкоговорителей, расположенных симметрично (по горизонтали) относительно центра на задней стене зала.
4	Center (C)	Центральный (C)	Фронтальный заэкраный громкоговоритель в центре экрана
5	Color decoding	Цветовое декодирование	Обратное степенное преобразование кодированных значений цвета DCDM в линейные цветовые координаты.
6	Color encoding	Цветовое кодирование	Степенное преобразование линейных цветовых координат в целые 12-битные без знака кодированные значения цвета DCDM в соответствии с уравнениями ISO 26428-1.
7	Color gamut	Цветовая гамма	Совокупность цветов, которые могут быть воспроизведены данной системой.
8	Dialog centric mix	Центральный речевой	Сведённый сигнал, в котором преобладает речь, и может быть использовано сжатие динамического диапазона.
9	Digital Cinema (D-Cinema)	Цифровое кино	Технологии производства и демонстрации цифрового контента, разработанные для профессионального кинематографа. Соответствуют стандартам ISO категории Digital cinema 428, 429, 430, 431, 432.
10	Digital Cinema Distribution Master (DCDM)	Прокатный Мастер Цифрового Фильма (DCDM)	Окончательная версия фильма, не компрессированное цифровое представление контента для кинотеатрального показа в формате цифрового кино (D-Cinema). Соответствует стандартам ISO серии 428. Изображение представлено в координатах X'Y'Z', получаемых в результате цветового кодирования аппаратно независимых цветовых координат XYZ. DCDM включает все творческие решения, сделанные в процессе мастеринга. Характеристики и параметры фильма далее не будут подвергаться какой-либо обработке до процессов сжатия и шифрования на этапе создания DCP.
11	Digital Cinema Package (DCP)	Цифровая Прокатная Фильмокопия (DCP)	Полный комплект файлов, содержащий все компоненты кинофильма, предназначенные для распространения и демонстрации в кинотеатрах формата цифрового кино (D-Cinema), с изображением, сжатым алгоритмом JPEG2000. Для защиты контента от несанкционированного доступа применяется шифрование. Соответствует стандартам ISO серии 429.
12	Digital Source Master (DSM)	Цифровой Исходный Мастер (DSM)	Окончательный продукт цифрового фильмопроизводства, в котором заложены все монтажные и цветовые решения создателей фильма. Из исходного цифрового мастера делают различные прокатные версии (например, плёночный контратип, прокатный мастер цифрового фильма DCDM, мастер для домашнего видео, эфирная или вещательная версия фильма).

№	Английский термин (обозначение)	Русский перевод термина (обозначение)	Определение
13	Edit Rate	Частота редактирования	Количество единиц редактирования в секунду. Поскольку частота редактирования не всегда представляется целым числом, её значение выражается рациональным числом (отношением двух целых).
14	Edit Unit	Единица редактирования	Наименьшая единица контента цифрового фильма, которая может редактироваться без нарушения целостности контента. Единица редактирования должна быть кратна длительности одного кадра цифрового фильма. В большинстве случаев они совпадают, но в некоторых случаях значение единицы редактирования может быть больше (например, в стереоскопическом цифровом фильме единица редактирования равна двум длительностям кадра).
15	Hearing impaired (HI)	Сурдокомментарий (HI)	Специализированный звуковой канал с повышенной разборчивостью речи, предназначенный для людей с нарушениями слуха.
16	Left center (Lc)	Левый центральный (Lc)	Фронтальный заэкраный громкоговоритель посередине между центром и левым краем экрана
17	Left surround direct (Lsd)	Левый направленный окружения (Lsd)	Громкоговоритель звукового окружения на левой стене для направленного излучения в отличие от ряда громкоговорителей, создающих диффузный эффект.
18	Left surround (Ls)	Левый окружения (Ls)	Ряд громкоговорителей, расположенных вдоль левой стены зала, начинающийся приблизительно с 1/3 расстояния от экрана до задней стены.
19	Left wide (Lw)	Левый боковой (Lw)	Фронтальный громкоговоритель сбоку слева от экрана вне его площади
20	Left (L)	Левый (L)	Фронтальный заэкраный громкоговоритель у левого края экрана, если смотреть из зала, на высоте центра экрана
21	LFE 2	Низкочастотных эффектов 2 (Lfe2)	Громкоговоритель низкочастотных эффектов №2 типа сабвуфера
22	LFE screen (Lfe)	Экранный низкочастотных эффектов (Lfe)	Фронтальный низкочастотный громкоговоритель за экраном. Называется также «каналом сабвуфера»
23	Lt/Rt	Lt/Rt	Обозначение для сведённых левого и правого каналов, используется для сообщения, что четыре аудиоканала матрично закодированы в два. Последующее декодирование восстанавливает четыре канала.
24	Mono	Моно	Одиночный монофонический аудиоканал, воспроизводимый через центральный громкоговоритель

№	Английский термин (обозначение)	Русский перевод термина (обозначение)	Определение
25	Narration (VI-N)	Тифлокомментарий (VI-N)	Специализированный канал, предназначенный для описания событий фильма для людей с ослабленным зрением.
26	Pixel bit depth	Глубина квантования пикселей	Количество бит для значения каждой цветовой координаты пикселей изображения.
27	Primaries – DCDM encoding primaries – Projector primaries	Цветовой базис – Цветовой базис DCDM – RGB проектора	Базис системы координат цветового пространства аддитивного синтеза. Например: – В качестве контейнера цветовой гаммы DCDM использован цветовой базис XYZ. – Формирующая изображение триада цветов проектора (RGB).
28	– Primary – Primary frame rates	– Базисный цвет – Основные частоты кадров	– В колориметрии – основной или базисный цвет, один из трёх цветов данного аддитивного синтеза, образующих базис соответствующего цветового пространства. «Базисный цвет» точнее отражает математическую суть термина. – 24 и 48 кадров/с (в ISO 26428-11) в отличие от дополнительных частот кадров (AFR).
29	Rear surround left (Rls)	Левый тыловой окружения (Rls)	Громкоговоритель(-и) звукового окружения на задней стене зала слева
30	Rear surround right (Rrs)	Правый тыловой окружения (Rrs)	Громкоговоритель(-и) звукового окружения на задней стене зала справа
31	Right center (Rc)	Правый центральный (Rc)	Фронтальный заэкраный громкоговоритель посередине между центром и правым краем экрана
32	Right surround direct (Rsd)	Правый направленный окружения (Rsd)	Громкоговорители звукового окружения на правой стене для направленного излучения, в отличие от ряда громкоговорителей, создающих диффузный эффект.
33	Right surround (Rs)	Правый окружения (Rs)	Ряд громкоговорителей, расположенных вдоль правой стены зала, начинающийся приблизительно с 1/3 расстояния от экрана до задней стены
34	Right wide (Rw)	Правый боковой (Rw)	Фронтальный громкоговоритель сбоку справа от экрана вне его площади.
35	Right (R)	Правый (R)	Фронтальный заэкраный громкоговоритель у правого края экрана, если смотреть из зала, на высоте центра экрана.
36	Theatre Black	Яркость чёрного	Свет, отражённый от экрана в кинозале, обусловленный внешними источниками (указатели выхода, подсветка ступенек) и проекционной системой, при подаче на неё минимальных кодированных значений.
37	Top center surround (Ts)	Потолочный центральный окружения (Ts)	Потолочные громкоговорители звукового окружения в центре зала
38	Vertical height center (Vhc)	Центральный верхний фронтальный (Vhc)	Фронтальный заэкраный громкоговоритель в центре верхней части экрана

№	Английский термин (обозначение)	Русский перевод термина (обозначение)	Определение
39	Vertical height left (Vhl)	Левый верхний фронтальный (Vhl)	Фронтальный заэкраный громкоговоритель в левом верхнем углу экрана, если смотреть из зала
40	Vertical height right (Vhr)	Правый верхний фронтальный (Vhr)	Фронтальный заэкраный громкоговоритель в правом верхнем углу экрана, если смотреть из зала

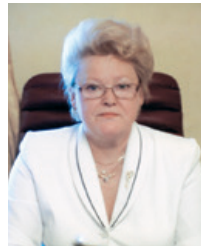
Работа выполнена по Государственному контракту Министерства Культуры РФ № 522-01.1-41/06-18 от 01.06.2018

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Сычев В.А. Контроль качества цифрового контента. Конференц-форум кинематографической общественности «Российская киноиндустрия-2008: анонс будущего». 1–3 июля 2008 г.
2. Чекалин Д. Развитие цифрового кинопоказа и вопросы стандартизации. Конференц-форум кинематографической общественности «Российская киноиндустрия-2008: анонс будущего». 1–3 июля 2008 г.
3. Н.С. Ковалевская, В.Г. Комар, А.А. Володько, Д.Г. Чекалин/ Стандартизация в кинематографии. // Мир Техники Кино. 2009. № 14. С. 46–49.
4. В.А.Сычев. Особенности контроля разрешающей способности при цифровой проекции. / Мир техники кино. 2009. № 14. С.50–52.
5. Рожков С.Н., Чекалин Д.Г. Специальные требования к цифровому кинопоказу и возможности улучшения его качества. / Мир Техники Кино. 2010. № 17. С. 17–24.
6. В.А.Сычев, Д.Г.Чекалин. О нормативно-технической базе обеспечения технического качества в национальной кинематографии. / Мир Техники Кино. 2014. № 4(34) . С. 14–19.
7. В.А.Сычев, Д.Г.Чекалин. Технические требования к цифровой кинотеатральной демонстрации фильмов и параметры, определяющие её качество .V Международная научно-практическая конференция «Инновационные технологии в кинематографе и образовании». Москва. 12–13 ноября 2018 г.
8. Постановление Правительства РФ от 17 ноября 1994 г. N 1264 «Об утверждении Правил по киноvideообслуживанию населения» (С изменениями и дополнениями от: 17 ноября 2000 г., 1 февраля 2005 г., 14 декабря 2006 г., 10 марта 2009 г.).
9. <http://www.dcinovies.com/> (дата обращения: 20.12.2018).
10. DCI Digital Cinema System Specification, v. 1.3. Approved 27 June 2018.
11. ISO 26428-1:2008, Digital cinema (D-cinema) distribution master – Part 1: Image characteristics.
12. ISO 26428-11:2011, Digital cinema (D-cinema) distribution master – Part 11: Additional frame rates.
13. ISO 26431-1:2008, Digital cinema (D-cinema) quality – Part 1: Screen luminance level, chromaticity and uniformity.
14. ISO 2969:2015, Cinematography – B-chain electroacoustic reponse of motion-picture control rooms and indoor theatres – Specifications and measurements.
15. ISO 9568:1993, Cinematography - Background acoustic noise levels in theatres, review rooms and dubbing rooms.
16. ISO 21727:2016, Cinematography – Method of measurement of perceived loudness of short duration motion-picture audio material.
17. ISO 22234:2005, Cinematography – Relative and absolute sound pressure levels for motion-picture multi-channel sound systems – Measurement methods and levels applicable to analog photographic film audio, digital photographic film audio and D-cinema audio.
18. ISO 26428-2:2008, Digital cinema (D-cinema) distribution master – Part 2: Audio characteristics.
19. ISO 26428-3:2008, Digital cinema (D-cinema) distribution master – Part 3: Audio channel mapping and channel labeling.
20. IEC 60958-3 / AES3-2003, AES standard for digital audio – Digital input-output interfacing – Serial transmission format for two-channel linearly represented digital audio data.



О РОЗОВСКОМ, О КИНО, И НЕ ТОЛЬКО...



■ Е.К. Абросимова, yekaterina-a@yandex.ru, журналист, Г.В. Тихомирова, д.т.н., профессор, kva-gukit@mail.ru, СПбГКиТ, РФ



В 2018 году Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, основанный в первый год советской власти как «Высший институт фотографии и фототехники», отметил своё столетие. Первоначально в институте были образованы два факультета: Художественно-фотографический и Научно-фотографический, имевший два отделения: фотохимическое и фотофизическое.

■ В 1931 году из организованного в 1930 году Ленинградского учебного комбината кинотехники выделился Ленинградский институт киноинженеров (ЛИКИ).

В ЛИКИ готовились специалисты на двух созданных факультетах – на электротехническом (инженеры звукового кино) и на механическом (инженеры по киносъёмочной и кинопроекционной технике). В 1932 году открывается кинооператорский факультет, который в 1935 году был переведён во ВГИК, в Москву.

75 лет знаменитый ЛИКИ готовил специалистов только по техническим направлениям, но без подготовки творческих кадров не было бы возможности полного обес-

печения потребностей кино и телевидения. Уже после большого перерыва вновь появилось обучение кинооператоров в институте. В 1992 году по предложению директора киностудии «Ленфильм» Александра Голутвы был создан факультет экранных искусств. За обучение операторов кино взялся Д.А. Долинин. В 1993 году в институте начал преподавать Эдуард Александрович Розовский, который возглавил кафедру операторского искусства.

К моменту, когда Розовский возглавил кафедру операторского искусства, он уже был известным оператором. Заслуженный деятель искусств РСФСР. Народный артист России (1997). В 1950 году окончил операторский

факультет ВГИКа, до 1955 года работал оператором студии «Леннаучфильм», затем – оператором-постановщиком на киностудии «Ленфильм».

Розовский дебютировал в большом игровом кино в 1959-м, скоро стал мэтром. Среди его фильмов такие, как «Человек-Амфибия», «Каин XVIII», «Друзья и годы», «Начальник Чукотки», «Белое солнце пустыни», «Царевич Проша», «Как Иванушка-дурачок за чудом ходил», «Обратная связь», «Трасса», «Дон Сезар де Базан», «Женитьба Бальзаминова», «Сократ» и многие другие. Более 80 фильмов снял Розовский, снимая порой по два-три фильма в год – от сказок до оперетт, от производственных фильмов до детективов. Шесть неигровых картин сделал сам как сценарист, режиссёр и оператор, среди них «Фильмы о фильмах».



Из воспоминаний Э.А. Розовского: «Первая встреча! Первое знакомство. Институт только что возвратился из Алма-Ата. Ещё многое в пути, а то, что приехало, требует разборки. Вот этим и занимаются мои новые знакомые. С гордостью говорят, что они операторы. Операторами они только собираются стать, а пока идёт подготовка к первому военному набору и ревизия приехавшего оборудования. В больших кожаных ящиках, они называются кофры, так мне объяснили, находятся съёмочные аппараты фирмы «Дебри» и «Аскания». Они – главная ценность прибывшего груза. В них заряжается киноплёнка для съёмки. По странному стечению обстоятельств, мно-

гие ребята, так же как и я, начинали учёбу в Московском Авиационном институте, ожидая возвращения ВГИКа. Женя Федяев и Николай Белов – фронтовики. Они, получив ранения, отлежали в госпиталях, и сейчас полны надежд на то, что заветная мечта исполнится. Я пытаюсь выяснить, чем занимается оператор. «Без оператора нет кино», – объясняют мне. – «Всё, что ты видишь на экране, это делает оператор». В разговоре принимают участие Валя Гинзбург, Саша Кочетков, Зоря Якобсон. Он интересуется, откуда я взялся. Довольно сбивчиво пытаюсь объяснить, кто я, и откуда. – Я из Казани, еду в Ленинград, у меня есть перевод в Политехнический институт. А здесь я с Ниной, собираюсь поступать на актёрский, но мне интереснее с вами. – А что ты знаешь о профессии оператора? Ты снимать умеешь? Я вспоминаю, что в детстве мне подарили аппарат «Пионер», это была картонная коробка, где вместо объектива была проколота в корпусе дырочка, а сзади находилась пластинка. Потом я проявлял её и печатал. Одним из объектов съёмки была большая глиняная ваза в виде водопада с купающимися русалками. Вот и весь мой опыт.

– Через две недели экзамены. Как будешь сдавать? – интересуются ребята. – А вы поможете?

Шефство надо мной взяли Валя Гинзбург и Зоря Якобсон. Не откладывая в долгий ящик, они принялись втолковывать мне азы профессии....»

К 100-летию института готовилась книга о Э.А. Розовском – выдающемся операторе и прекрасном педагоге, 18 лет возглавлявшем кафедру операторского искусства. Отрывки из будущей книги мы сегодня публикуем.

«Он всё знал, всё видел, и при этом – всех любил»

Неизвестная зрительница, любимые фильмы:
«Человек-Амфибия», «Белое солнце пустыни»,
«Начальник Чукотки».

Соколов Виктор Фёдорович – режиссёр, сценарист, заслуженный деятель искусств РСФСР (1987): «...Мы, наше поколение, в том числе Розовский, были пионе-



На съёмках фильма «Магистраль»



рами. На наших глазах появился звук, цвет. Это были первые массовые, а не лабораторные работы. Широкий экран. Много искали в формате стереокино, помню, я сам что-то смотрел в Москве в очках. Но это были маленькие фильмы, «Робинзон Крузо» и ещё что-то. Так что все эти знаменитые 3D и «аватары» мы уже видели.

То время высекало замечательных людей. Лётчик, военный – и вот оператор. Были военные операторы – на каждой студии ты найдёшь доску, на которой выбиты навсегда имена великолепных операторов. Они лезли куда угодно, многие погибли, и Розовский был таким. И вот отсюда его сущность, она невольно отразилась и в его творчестве. Отсюда и его два шлягера – «Человек-Амфибия» и «Белое солнце пустыни», которые смотрели, и будут смотреть ещё долго, и после нас.

Розовский родился между академиками и импрессионистами классиком. Он был профи, мастер. Он никогда не клевал на все эти импрессионистские штучки. Он любил, чтобы у него был объём, фактурность....»

А. Белинский – советский и российский режиссёр и сценарист, народный артист России: «...Наша работа началась странно, я встретился с ЭА как артист, снимался в фильме «Мой папа идеалист». Снимал фильм Володя Бортко, сын моего друга покойного, и у камеры стоял ЭА. Я отснялся, и мне так понравилось, как он себя вёл на площадке, его доброта и конкретность, что я сразу пригласил его снимать свою картину. Это была картина «Марица», которую я считаю неудачной, потому что мы безумно замучились с пробами, но так никого и не нашли, поэтому актёрски картина получилась неудачно. Но очень хорошо снята, она была хорошо снята, очень странно, как он прорабатывал крупные планы, в чём была его сила. Он очень долго ставил свет. Он вообще типичный оператор 20-го века, его надо определять не по его знаменитым лентам как «Человек-амфибия» и «Белое солнце пустыни», а именно по психологическому портрету. Я всю жизнь считал и считаю его лучшей картиной «Друзья и годы», сделанную с Витей Соколовым. И так, мы сняли Марицу, и начиная с Марицы, мы не расставались и сняли девять фильмов. Это довольно

много. Один из них мы оба считаем крайне удачным – это «Женитьба Бальзамина»...».

Александр Викторович Чиров, профессор кафедры операторского искусства: «...Да, Ленинградская операторская школа... Флёр какой-то остался. Вначале я видел, что работы вгиковцев выше наших. Но нельзя было спрашивать качество, ведь у нас не было такого технического обеспечения. Кафедру создали, а техники нет. Появилось хоть что-то, когда Розовский стал ходить и кланяться, добывать благодаря своей дипломатии и настойчивости. Потом он и меня заразил – я увлёкся, когда был заместителем. Мы не воровали, конечно, но тащили всё, что можно...»

Так как мы теперь вместе с Розовским работали, а летом по соседству жили, общение стало более тесным. Нас связывали и студенты – он приглашал меня к своему курсу, я его приглашал к своему курсу, на «мастер-классы». Ох, не люблю я это выражение!...»

С. Дворцов – второй оператор фильма «Сократ»: «...Сократ, которого играл актёр Григорий Ардаков, ходил в гимантии, а гимантий – это пять метров холста, в которые человек замотан, как в кокон. Поскольку ходил он по этим камням босиком, то съёмки затянулись. Снимали мы уже в декабре, когда снег лежал, и реквизитора приходилось метёлками снег сметать. В общем, экспедиция затянулась, деньги, планы, уже всё закончилось.

Отправили из Симферополя плёнку с первым материалом, звонит Корозин из Сосновой Поляны через день, говорит: «Авария в Поляне, выключилось электричество, и проявочная машина остановилась». Я вообще за всю работу в Ленфильме такого не помню, хотя есть, конечно, какие-то аккумуляторы, какие-то генераторы, которые должны включиться, чтобы материал не погиб, чтобы температура не упала, чтобы это всё промоталось. Короче говоря, там, в машине застряло 600 или 800 метров материала «Сократа», последний съёмочный день. Вся группа, директор, режиссёр, собрались с Розовским, что делать? Полная паника. Что в такой ситуации делать? Розовский говорит: «Всё по плану, сворачиваем экспедицию и уезжаем». Потому что этот материал не переснять.



На съёмках фильма «Человек-Амфибия»



Съёмки фильма «Пока стоят горы»



Фотопроба



Э.А. Розовский



Розовский на занятиях

Он так сказал, и это оправдалось, потому что мы снимали тогда не на российскую, не на советскую, а на немецкую плёнку OrwoColor. Она считалась более стабильной, надёжной, были недостатки – она была невысокой чувствительности, но поскольку мы на улице, в Крыму снимали, то солнца нам хватало. Розовский заставлял всю бригаду ассистентов снимать дубли на разных кассетах. То есть мы зарядили 300 метров, сняли первый дубль на эти кассеты, поставили другую кассету, сняли второй дубль. Так сняли первый дубль следующего кадра, надо было снять кассету и поставить другую. Он как бы предусмотрел возможные проблемы. Поэтому он рискнул и сказал – не переснимать.

А у Розовского было какое-то чутьё. Причём он не на каждой картине так делал, может быть, оттого, что мы далеко от студии, что трудно повторить, что уходящая натура, я не знаю, отчего. Но мы строго выполняли. Он сказал: «снимать на разных кассетах, чтобы был материал в разных кассетах».

Эдуард Александрович просто ценил людей, уважал их труд и был как отец родной. Он отвечал практически за всю съёмку и всех людей, поэтому не стал их держать просто так и непонятно для чего...».

Александр Массарский – постановщик трюков, конструктор специальной съёмочной аппаратуры: «...Одна из первых картин, где я работал с Эдуардом Розовским, была «Человек-Амфибия» (1961). Мне предстояло поставить трюковые сцены и участвовать в подводных съёмках. «Ленфильм» и другие студии страны тогда не имели специальной аппаратуры для подводных съёмок. У меня же был значительный опыт конструирования таких аппаратов. В то время, на различных студиях страны, я успешно снимал под водой своими камерами. При подготовке к съёмкам Розовский обратился ко мне за помощью в изготовлении подобных камер на «Ленфильме». Были использованы мои разработки, чертежи, и два изготовленных бокса для камер «Конвас-автомат» с кассетой на 120 метров плёнки позволили снять задуманную картину. Через полвека в ленинградском Доме кино торжественно отмечался юбилей «Амфибии». Мы вспоминали съёмки, в шутку примеряли со-

хранившийся костюм Ихтиандра. К сожалению, многих участников съёмок тогда уже не было в живых. Вскоре не стало и замечательного Мастера света – Эдуарда Розовского...».

«...Нашим космонавтам понравился его фильм «Белое солнце пустыни», и он стал их талисманом. Даже возникла традиция – перед стартом в космос смотреть только «Белое солнце пустыни». Пока готовят ракету, старта ждут два экипажа – основной и дублирующий. До последней минуты неизвестно, который из них полетит на орбиту. Ведь к полёту готовились по одной программе, но если у одного из них, например, поднялось давление, снимают весь экипаж, и летит второй. Чтобы снять нервное напряжение, раньше «крутили» какую-нибудь комедию вроде «Кавказской пленницы». Это такая же традиция, как и «отметиться на счастье» на колесе автобуса, который привёз экипажи к ракете. У них по «Белому солнцу пустыни» есть шуточная викторина в 54 вопроса, которую все знают наизусть. Через 25 лет после выхода фильма, по настоянию космонавтов, фильму всё-таки присудили Госпремию...»

С.В. Астахов – кинооператор. Дважды лауреат государственных премий. Преподаватель кафедры операторского искусства Санкт-Петербургского института кино и телевидения: «...Я скажу так, что самый главный его талант – талант Человека. Он во всём был Человеком с большой буквы, это влияет и на профессию оператора в том числе, в большей степени, чем на кого-либо из кинематографистов. Это, конечно, фанатизм. Фанатизм в отношении профессии – он всё посвятил кино. И это даёт результат, выделяет его из толпы – и наградами, и результатами, и уважением. Это труд, за который вознаграждается. Он по-другому даже не мыслил, его самоотдача была полной.

Мне кажется, Розовский, так же как и я, понимал опасность компромисса. Можно снять плохо из-за незнания, неопытности, из-за отсутствия таланта, наконец. Главное – не сделать хуже, чем ты можешь, осознанно. Из-за лени, плохого настроения или из-за чего угодно. К этому начинаешь привыкать, и через какое-то время это становится нормой. Главное, не пропустить этого момента. Розовский, кажется, это тоже понял и ушёл в преподавательство».

К.Г. Ершов – профессор, заслуженный работник культуры РФ, академик Академии кинематографических искусств «НИКА»: «...Розовский, человек невероятно энергичный, взялся за дело серьёзно, и прежде всего – за материальную базу. Оператору нужно много – техника, павильоны. Розовский добился в этом смысле многого, убеждал, доказывал. В результате у нас есть и оснащённые аудитории, и многое другое. Всё было создано его трудом. Ну и самое важное – кадры. Тот же Астахов, Волков со студии документальных фильмов, заслуженный деятель искусств Наумов Игорь с «Лентелефильма», Левитин Михаил, внук знаменитого Левитина («Счастливого плавания!»), Чиров, Ужвиев... Все они пришли по приглашению Розовского. Кафедра получилась большая и хорошая.



Практическое занятие со студентами

Розовский всегда стремился всюду успеть, интересовался всем, что связано с кино... И не случайно в 1986 году, на пятом Съезде кинематографистов он был избран в правление».

Тихомирова Г.В. – доктор технических наук, профессор, заслуженный работник Высшей школы РФ, академик Академии кинематографических искусств «НИКА»: «...Конечно, это был великий человек, необыкновенный. Как председатель приёмной комиссии при проведении экзаменов в регионах РФ, могу сказать: по-разному можно вести приём. Что такое творческие туры? В условиях приёма всё это формулируется. Будем говорить о кинооператорстве. На консультации говорим: вы должны принести свои фотоработы, причём не домашние сюжеты типа «уикенд или школьный пикник», а показать, что вы можете работать со светом, сюжетом, и т.п.

Там же на выезде всё быстро происходит. Это на месте в фотолаборатории даём плёнку, они снимают, возятся, печатают, А там максимум неделя, ведь мы должны вернуться на приём в головной вуз в середине июля.

Или звукорежиссура – нужно практическое музыкальное образование. Документ не требуем, просим: подойдите к инструменту, сыграйте что-то.

Самое главное – собеседование. Я вообще отрицательно относилась к ЕГЭ, как и вся наша комиссия, как 90 процентов преподавателей всех вузов. Хорошо, что творческие экзамены не включили в ЕГЭ. И вот Розовский сидит, беседует, причём у него удивительная была способность так отказывать, что человек уходил счастливым оттого, что он пообщался с Розовским. У нас сто человек за порогом, а он с каждым час разговаривает...».

Е.В. Константинова – заведующая кафедрой фотографии и народной художественной культуры: «...отдельно набирали тогда телевизионных операторов, телевизионных режиссёров на кафедре Телевидения. Потом, стараниями Розовского, который всю жизнь доказывал, что не бывает «двух операторов», что бывает профессия кинооператор, а пойдут ли они работать на телевидение или кино – не имеет серьёзного значения. Операторское искусство выделили в отдельное направление.



Заседание кафедры операторского искусства

Он, прежде всего, гениальный педагог. Потому что можно быть Личностью, можно быть Гением, но вложить свои гениальные способности, свою личность в учеников может не всякий. А сила Розовского как раз и состояла в том, что он понимал студентов, он видел их потенциал, и он помогал этот потенциал раскрыть. Его ум, его глаз, он позволял во всех пришедших на экзамены ребятах (если что-то там было) это увидеть, это зерно таланта. Это отдельная, так скажем, сторона жизни, отдельный талант.

Кроме того, что Розовский был величайшим Мастером, он был замечательным техническим специалистом, но я бы сказала, что главное, что он был Педагогом».

В. Лютов – журналист, режиссёр: «...В 2006 году мы поехали большой делегацией во Францию: Эдуард Александрович, Александр Массарский, Елена Константинова, я, внучка Эдуарда Александровича, прилетевшая из



На фестивале подводных изображений. Марсель, Франция



Торжественный выстрел из пушки Петропавловской крепости в честь 80-летия Э.А. Розовского



В Киеве у памятника Леониду Быкову

Америки. И это было начало празднований выхода из небытия знаменитого фильма «Человек-Амфибия».

Когда мы прилетели во Францию, был подготовлен некий ролик по-французски и показали «Амфибию» на французском языке, конечно, этого никто не ожидал. В первом ряду сидел Жан-Мишель Кусто, и он не мог поверить, что такие актёры, такая музыка, такие подводные съёмки, уникальные проплывы Коли Иванова – всё это возможно. Жаль, французы на другие языки не успели перевести. Все были в шоке и называли это «Вечер пионера русского подводного кино».

А Эдуард Александрович вышел тогда в бабочке, с внучкой и сияющий, сказал: спасибо Франция, спасибо Кусто, спасибо фестивалю. Вы знаете, сказал он, бывают в жизни моменты, когда вспоминаешь, что что-то в жизни ты сделал не зря.

...Помню, Эдуард Александрович очень волновался перед вечером, он не знал, что от него ждать. А уже потом был успех, и мы немножко похулиганили: отправили факс в Министерство Культуры РФ и написали там, что 45-летие фильма «Человек-Амфибия» отмечают во Франции. И вот только тогда наши чиновники от культуры зашевелились, 45-летие прошло в Москве и потом в нашем Доме кино, но всё началось вот с этой инициативы».

В. Лернер – кинооператор, преподаватель кафедры операторского искусства, ученик Э.А. Розовского: «Недавно пришёл мой однокурсник на кафедру, посмотреть. Там оказалось, есть всё. А когда мы учились – Розовский нам в шапке преподавал. Холодно было в аудиториях. Ничего не было. НИЧЕГО!!!».

Даже трудно себе представить, что так было. Кафедру операторского искусства возглавляет сегодня Н.В. Волков, профессор, заслуженный деятель искусств РФ. За последние годы кафедра получила новое оборудование, новые помещения. Студенты снимают фильмы и получают призы.

Обеспечение современной кино- и видеосъёмочной техникой осуществляется из госбюджетных и внебюджетных

средств института. Кроме того, институт активно сотрудничает с известными фирмами, выпускающими кино- и видеоаппаратуру в Японии, Китае, Бельгии, Германии и других странах, которые предоставляют свою аппаратуру для обучения студентов по творческим направлениям. Эти связи активно развивает и поддерживает ректор СПбГИКиТ Александр Дмитриевич Евменов – доктор экономических наук, профессор.

* * *

О. Шервуд – журналист, кинокритик, «Санкт-Петербургские ведомости». Из некролога:

В декабре собирались отмечать его 85-летие.

Во вторник ехал в машине, один, с дачи, было очень жарко; вероятно, ему стало плохо...

...Кинооператоры редко известны больше, чем в профессиональном кругу; с Розовским случилось иначе. Его отличала необычайная общительность, готовность делиться всем, что знал в кино и про кино. Эти качества счастливо совпали со временем, когда в публике, подогретой голливудскими разными трюками, пробудился интерес к тому, как были сделаны советские шедевры. Розовский со своим опытом и нравом тут оказался кладзем. Любая аудитория с полным восторгом внимала его удивительным рассказам на многих фестивалях и творческих встречах.

Но воспоминания выпустить не успел. Пять лет назад, когда мы разговаривали для публикации к его 80-летию, на вопрос о мемуарах грустно-легко отшутился:

– Мемуррры? Мне ещё рано.

Правда, студентам говорили, чтобы не теряли времени, каждый день хоть строчку написали о пережитом: «Ну, хоть строчку в неделю. Я этого не делал и упустил массу прекрасных, дивных ситуаций... не записал». ■



Для книги собран большой материал: воспоминания самого Эдуарда Александровича, более 40 интервью с его коллегами и друзьями, фотографии рабочих моментов его кинокартин, кадры из фильмов и фотографии из жизни.

Просим поддержать инициативу авторов в издании книги.