

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЦИФРОВОМУ СТЕРЕОКИНОПОКАЗУ И ВОЗМОЖНОСТИ УЛУЧШЕНИЯ ЕГО КАЧЕСТВА

С.Н. Рожков,
Д.Г. Чекалин,
ОАО «НИКФИ»



Аннотация

В статье рассматриваются особенности и специальные требования к демонстрированию стереофильмов в кинотеатрах при использовании плёночных и цифровых технологий. Рассмотрены применяемые в настоящее время методы цифрового кинотеатрального стереопоказа. Проведены анализ и оценка различий яркостных характеристик обычного и стереоскопического цифрового киноизображения. Предложен метод расчёта необходимого светового потока цифрового проектора для стереопроекции. Рассмотрена проблема совместимости обычной и стереоскопической цифровой кинопроекции в одном кинозале. Перечислены параметры и характеристики, определяющие качество стереокинопоказа. Обоснована необходимость разработки стандартов, нормирующих основные параметры стереопары, светотехнические параметры стереокинопроекции, параметры стереокинотеатра.

Ключевые слова: стереокино, цифровая стереокинопроекция, 3D киноизображение, 3D фильм, цифровые форматы.

■ Сегодняшний этап развития стереокино базируется на достижениях цифровых технологий обычного (двухмерного) кино.

Стереокиносъёмка и демонстрирование стереофильмов имеют свои специфические особенности, поэтому цифровая регистрация стереокиноизображения и цифровой стереокинопоказ отличаются от аналогичных процессов в обычном двухмерном кинематографе.

Как и в любой другой отрасли, для успешного развития и внедрения новых технических средств и технологий должны быть определены, формализованы и стандартизованы основные характеристики, параметры и их значения. Первым и наиболее существенным шагом в этом направлении была разработка консорциумом семи ведущих голливудских киностудий DCI (Digital Cinema Initiatives) «Спецификации DCI», которая была опубликована в 2005 году [1]. Сейчас действует вторая версия этого документа (Digital Cinema Initiatives, LLC, Digital Cinema System Specification, Version 1.2, March 07, 2008)

SPECIAL REQUIREMENTS FOR 3D DIGITAL DISPLAY AND POTENTIALITIES OF IMPROVEMENT OF ITS QUALITY

Rozhkov S., Chekalin D.

Abstract

Features and special requirements for film and digital theatrical stereoscopic cinema demonstration are considered in the article. Up to date methods for digital theatrical stereo display are reviewed. Analysis and assessment of luminosity differences between regular and stereo digital images are made. Method of luminous flux calculation for digital stereo projection is proposed. The issue of 2D and 3D digital projection compatibility in the same cinema hall is discussed. Settings and characteristics determining the quality of the stereo display are listed. The necessity of working out the 3D display standards of the stereopair parameters, settings of the 3D projection lighting and cinema hall is proved.

Keywords: stereoscopic movie, digital stereo projection, 3D cinema image, 3D movie, 3D display, digital formats.

на 156 страницах [2]. Далее на основе этого документа обществом SMPTE были утверждены стандарты для цифрового кино. И, наконец, с 2008 года в ISO осуществляется планомерное утверждение стандартов D-Cinema (цифрового кинематографа).

Значительно хуже обстоит дело со стандартизацией в области стереоскопического кинематографа. На сегодняшний день та же DCI опубликовала единственный одностраничный документ, относящийся к цифровому стереокино (Digital Cinema Initiatives, LLC, Stereoscopic Digital Cinema Addendum, Version 1.0, July 11, 2007) [3]. В ISO принят единственный стандарт, относящийся к стереокино и описывающий структуру файлов для цифрового стереокино – ISO 26429-10:2009 Digital cinema (D-cinema) packaging – Part 10: Stereoscopic picture track file [4]. Наиболее проработанным и, вероятно, единственным нормативным документом в области стереокинопоказа является PTM 19-77-94 «Развитие и техническое оснащение киносети», в котором специальный раздел посвящён во-

просам оборудования кинотеатров для стереокинопоказа применительно к плёночным технологиям [5].

Отличия цифрового кинопоказа от плёночного обусловлены как принципиально другим носителем записи, так и способом формирования изображения. Эти отличия прежде всего связаны с необходимостью обеспечения качества и точности цветопередачи, с выполнением соответствующих настроек при наличии методов контроля. В плёночной технологии цветопередача обеспечивается и контролируется на стадии фильмопроизводства, в цифровом кинопоказе окончательные настройки и контроль цветовоспроизведения производятся непосредственно в кинотеатре с применением специального оборудования, тестов и методик применительно к каждому из видов проекции.

В стандартах для плёночной и цифровой проекции также отличаются: уровень яркости, степень равномерности яркости, методики их измерения, форматы изображения, цветность белого.

В цифровом кинопоказе стандартизованы две частоты кадров и две величины разрешения изображения.

Основные параметры цифрового кино для кинотеатров:

- цветность – цветовое пространство X Y Z, 12 бит;
- координаты белого: $X = 0,314 \pm 0,006$; $Y = 0,351 \pm 0,006$;
- яркость $48 \pm 10,2$ кд/м²;
- разрешение: 2048x1080 (24 и 48 кадр/сек), 4096x2160 (24 кадр/сек);
- равномерность яркости экрана 75–90 %.

В цифровом кинематографе стандартизованные базовые форматы определяются разрешением проекционной матрицы, которое составляет 2048 × 1080 или 4096 × 2160 квадратных пикселей, что соответствует соотношению сторон 1,9:1. Это соотношение не совпадает с форматами, принятыми в плёночном кино или телевидении. Для этих случаев существует правило: изображение, не совпадающее с проекционной матрицей по соотношению сторон, должно полностью её заполнять либо по горизонтали, либо по вертикали.

Большинство кинозалов оснащено широкими экранами с соотношением сторон 2,35:1 (в США 2,39:1). Цифровой показ на таких экранах осуществляется в трёх форматах (рис. 1):

1,9 : 1 (цифровой стандарт) с механическим горизонтальным кашетированием экрана;

2,35 : 1 анаморфированный, с применением анаморфотной оптики;

2,35 :1 кашетированный с увеличением кашетированного на матрице изображения на весь экран.

Методы современного цифрового кинотеатрального стереопоказа

Человек видит окружающие предметы объёмными благодаря присущим человеку свойствам стереоскопического зрения, при котором вследствие наличия некоторого расстояния между глазами (базиса зрения) в каждом глазу формируются изображения, несколько отличающиеся друг от друга. Для воспроизведения стереоскопических изображений необходимо предъявлять левому и правому глазу зрителя только «свое» изображение, то есть обеспечить сепарацию – раздельное предъявление каждого из изображений стереопары только «своему» глазу.

Для кинотеатрального стереокинопоказа используются два подхода – с одновременным либо поочерёдным последовательным предъявлением двух изображений стереопары. Сепарация изображений осуществляется несколькими методами с применением различных оптических принципов и технологий: цветовая сепарация, сепарация с применением линейных или циркулярных (круговых) поляризационных светофильтров, затворные методы, автостереоскопические (безочковые) методы (последние в настоящее время для кинотеатрального кинопоказа не применяются).

Цветовая сепарация

Метод цветовой сепарации изображений стереопары начал использоваться с середины XIX века. Он получил название «анаглифный». Совмещённые изображения стереопары, окрашенные в дополнительные цвета, рассматривались через стереочки с соответственно окрашенными светофильтрами. В эпоху цветного кино иногда использовали «квазианаглифный» метод, совмещая в одном кадре красную составляющую одного ракурса и сине-зелёную другого. Просмотр фильма осуществлялся в анаглифных очках. Стереозображение воспринималось как цветное благодаря эффекту бикулярного смешения цветов. Преимущество метода: возможность показа в любом кинозале на любом экране. Недостатки: невозможность получения качественного полноцветного изображения и повышенная нагрузка на глаза из-за больших потерь света при сепарации изображения и часто возникающего эффекта борьбы полей зрения при значительных различиях цветности сопряжённых участков в изображениях стереопары.

Развитие современных оптических технологий позволило разработать новый метод цветовой сепарации, позволяющий добиться до-

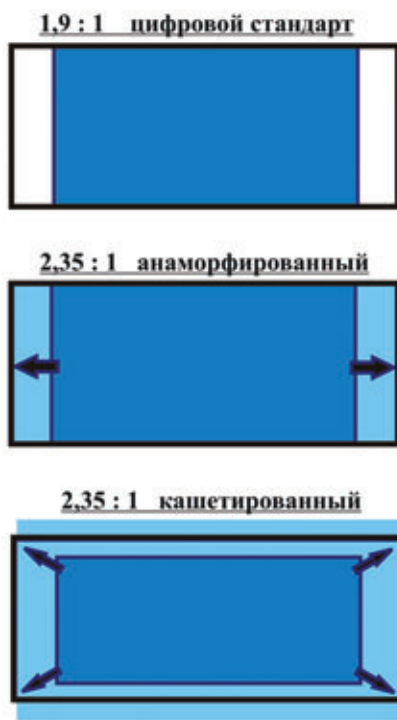


Рис. 1. Форматы экрана и изображения при цифровом кинопоказе

статочного высокого качества цветопередачи. Новая методика была разработана немецкой компанией Infitec GmbH (сокращение от Interferenzfiltertechnik) и основана на применении интерференционных фильтров. Данная технология основана на способности человеческого зрения воспринимать любой цвет как комбинацию сочетания трёх основных цветов спектра – красного, зелёного и синего. С помощью спектральных интерференционных фильтров участки спектра каждого из этих цветов разделяются на две зоны с различными диапазонами длин волн и затем формируют два изображения – для левого и правого глаза (рис. 2). В 2006 году Dolby Laboratories приобрела лицензию у Infitec и разработала систему стереопоказа Dolby 3D. Этот метод может быть реализован по схеме с одновременным применением двух проекторов, в которых установлены отдельные фильтры для левого и правого глаза, или по схеме с использованием только одного проектора с последовательной поочерёдной проекцией левых и правых изображений через соответствующий фильтр. Для этого в проекторе между источником света и матрицей устанавливается быстро вращающийся, работающий синхронно с проектором, интерференционный диск (рис. 3), состоящий из двух половин с разными светофильтрами и модулирующий по цвету световой поток последовательно для левого и правого кадров стереопары. На каждом кадре фильма диск проворачивается трижды, поэтому при частоте фильма 24 кадра в секунду скорость его вращения составляет 4320 оборотов в минуту. Зритель смотрит изображение в стереочках с такими же фильтрами (рис. 4), как и на диске, благодаря чему каждый глаз видит своё изображение. При проекции обычных нестереоскопических фильмов интерференционный диск автоматически выводится из светового луча. Достоинством метода является возможность его применения с любыми экранами, а к недостаткам следует отнести большие светопотери (до каждого из глаз зрителя доходит менее 13% светового потока), наличие искажений цветопередачи и необходимость дополнительной цветокоррекции.

Временная сепарация

Временная сепарация (с использованием obturatorных и затворных технологий), как и цветовая, начала применяться с середины XIX века. По этому методу изображения стереопары предъявляются поочерёдно каждому глазу зрителя. Современные методы временной сепарации предусматривают применение затворных жидкокристаллических беспроводных очков (рис. 5).

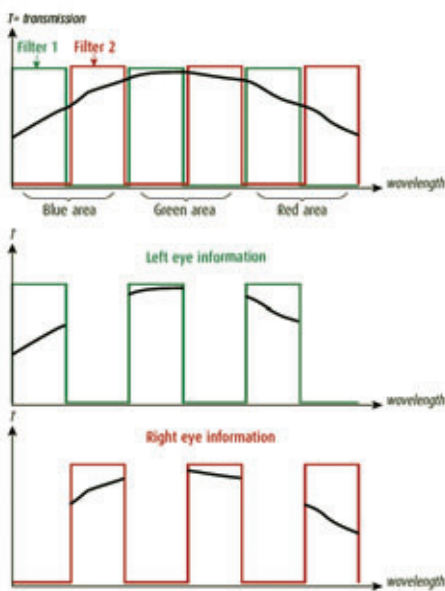


Рис. 2. Принцип работы фильтров системы Infitec

Активным элементом в очках являются жидкокристаллические клапаны, затемняющиеся и перекрывающие световой поток кинопроектора при подаче на них электрического сигнала. Смена «левого» и «правого» изображений на экране и затемнение соответствующего светофильтра стереочков жёстко синхронизированы. Переключение осуществляется с помощью инфракрасного сигнала от специального эмиттера с ИК-светодиодами с частотой 72 Гц на каждый глаз. В очки встроены элементы питания и приёмник ИК-излучения от эмиттера. Наибольшее распространение получила система ХрапD 3D, разработанная компанией NuVision. Достоинство: не требуется специально го экрана. Основные недостатки затворного метода:

- высокая стоимость очков;
- необходимость замены элементов питания (или самих очков при несменных элементах питания);
- эффект мерцания изображения в периферийных зонах зрения;
- повышенная утомляемость глаз;
- повышенный вес очков, создающий дополнительную нагрузку на переносицу.

Следует отметить, что любой метод сепарации, применяемый в сочетании с однообъективной стереопроекцией (Dolby 3D, Real D Cinema, Master Image), также предусматривает поочерёдное предъявление каждому глазу изображений стереопары, то есть в этих случаях имеет место временная сепарация с применением пассивных стереочков.



Рис. 3. Узел цифрового кинопроектора с вращающимся диском системы Dolby 3D



Рис. 4. Очки Dolby 3D



Рис. 5. Затворные очки ХрапD

Поляризационная сепарация

Поляризационный способ стереопроекции начал применяться в конце XIX века.

В настоящее время поляризационные технологии с пассивными очками востребованы и применяются при цифровом стереокинопоказе.

В цифровой системе IMAX 3D применяются два кинопроектора и светофильтры с линейной поляризацией. Линейная поляризация требует, чтобы зритель не наклонял голову в стороны, иначе возникает двоение изображения.

Циркулярная (круговая) поляризация применяется в системах Real D Cinema и Master Image. В обеих системах проектор попеременно проецирует кадры для каждого глаза, причем эти кадры проецируются в циркулярно поляризованном свете: по часовой стрелке для правого глаза, против часовой – для левого. Очки с взаимно-противоположной круговой поляризацией обеспечивают процесс, при котором каждый глаз видит свою собственную картинку. Качество сепарации при этом практически не зависит от наклона головы зрителя. Разница между системами состоит только в поляризующем устройстве, установленном перед объективом проектора. В системе Real D поляризующим устройством является специальный электронно-управляемый поляризационный фильтр Z Screen с изменяемой в зависимости от сигналов контроллера поляризацией (рис. 6). В Master Image в качестве поляризующего элемента применяется установленный на подъёмном механизме вращающийся диск (рис. 7), сектора которого представляют собой поочередно сменяющие друг друга поляризационные светофильтры с различным направлением вращения вектора поляризации.

Достоинством метода являются недорогие и лёгкие очки, допускающие наклон головы зрителями. К недостаткам можно отнести необходимость недеполяризующего экрана.

Отдельно следует выделить систему стереопроекции SONY (рис. 8) для проектора с матрицей 4K, на которой формируются изображения сразу двух кадров стереопа-



Рис. 6. Поляризующее устройство системы Real D



Рис. 7. Подъёмный механизм Master Image с вращающимся поляризующим диском

ры, расположенные одно над другим (рис. 9), а проекция осуществляется специальной насадкой с двумя объективами. В качестве недостатка этой системы следует отметить неэффективное использование площади матрицы и светового потока кинопроектора.

Наибольшее распространение в силу более низкой стоимости и простоты технической эксплуатации получили технологии стереокинопоказа с одним проектором. По этой схеме работают системы: Infitec (Dolby 3D), Real D, Master Image, XpanD.

Принципиальным отличием стереокинопроекции от обычной является многократная потеря воспринимаемой яркости. Для систем, использующих один проектор, световые потери достигаются 85% , для двухпроекторных систем эти потери существенно ниже.

Для увеличения общего светового потока, увеличения размеров экранов и улучшения качества изображения предпочтительнее применять двухобъективные схемы проекции с двумя источниками света. В таком режиме могут работать системы: Infitec (Dolby 3D), Real D, IMAX 3D. Следует отметить, что наибольший дополнительный выигрыш светового потока можно получить при использовании поляризационной сепарации и двух жидкокристаллических (LCD) проекторов, у которых на выходе после объектива свет уже поляризован. На рис. 10 приведены данные световых потерь для разных систем, опубликованные на сайте фирмы Varco [6].

Определение необходимого светового потока цифрового проектора в режиме стереокинопоказа

Одним из основных параметров, влияющих на качество кинопоказа, является яркость изображения, её значение нормировано и представлено в стандартах и нормативных документах. Однако для цифрового стереокинопока-

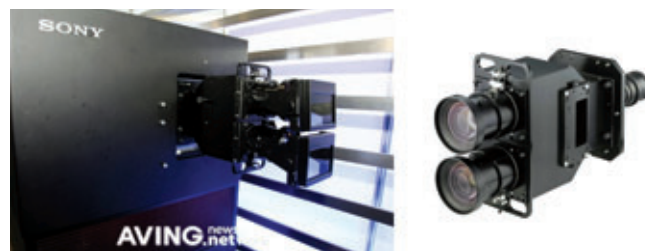


Рис. 8. Цифровой кинопроектор SONY и проекционная насадка с двумя объективами



Рис. 9. Расположение кадров стереопары на матрице 4 К в проекторе SONY

за норма яркости на сегодняшний день не стандартизована. Это ещё только предстоит сделать.

Накопленный в НИКФИ опыт переоборудования кинотеатров для плёночного стереопоказа и многолетний опыт проката стереофильмов показали, что световой поток кинопроектора должен обеспечивать яркость, воспринимаемую зрителем через стереочки, равную яркости обычного киноизображения в обычном кинотеатре. Такой подход был положен в основу расчётов необходимого уровня яркости при стереокинопоказе. Эти расчёты, как и норма яркости, приведены в РТМ 19-77-94 «Развитие и оснащение киносети» [5].

В процессе освоения и внедрения цифровой проекции высказывались суждения, что при использовании для стереокинопоказа одного цифрового проектора, работающего с частотой мельканий 144 сек⁻¹ и поочерёдном (с частотой предъявления одного ракурса 72 сек⁻¹ и скважностью 0,5) предъявлении изображений стереопары левому и правому глазу зрителя зрительная система воспринимает максимальное мгновенное значение уровня яркости и удерживает его практически на том же уровне за счёт инерции зрения.

Чтобы уточнить разницу восприятия яркости обтюрированного и ламинарного световых потоков, в НИКФИ был проведён соответствующий эксперимент. Сравнивались две половины экрана, одна из которых освещалась осветительной системой кинопроектора с остановленным двигателем и открытым кадровым окном (световой поток ламинарный), а другая – прерывистым световым потоком с частотой мельканий 72 сек⁻¹ и скважностью 0,5. При визуальном одинаковой яркости двух половин экрана измеренные люксметром освещённости для ламинарного и обтюрированного потоков показали одинаковые величины.

Результаты данного несложного эксперимента позволяют утверждать, что нет никаких оснований для снижения воспринимаемой яркости при стереокинопоказе относительно нормированной яркости для обычного кинопоказа, и что уровень воспринимаемой яркости при любом виде кинопоказа должен в равной мере соответствовать современным стандартам для обычной проекции.

В кинотехнике определение светового потока является необходимым элементом при проектировании кинозалов и выборе необходимого проекционного оборудования. Для классических плёночных технологий этот процесс хорошо известен и отработан, однако технология цифровой проекции имеет свои специфические особенности и отличия. Например, в цифровом кинопоказе нормированная яркость несколько ниже, чем в плёночном, но это объясняется тем, что измерения яркости проводятся при отсутствии плёнки в фильмовом канале кинопроектора, и что требования к равномерности яркости по полю изображения более жёсткие.

Определять величину необходимого светового потока цифрового проектора, предназначенного для работы в режиме стереокинопроекции, предлагается по следующей формуле:

$$F = \frac{K_1 \cdot K_2}{K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot \beta_0} \cdot \pi \cdot S \cdot L, \quad (1)$$

где:

F – требуемый световой поток кинопроектора, лм;

K₁ – коэффициент неравномерности освещённости экрана;

K₂ – коэффициент запаса светового потока, учитывающий снижение яркости лампы в процессе её эксплуатации;

K₃ – коэффициент пропускания проекционного окна;

K₄ – коэффициент падения уровня воспринимаемой яркости при стереокинопоказе;

K₅ – коэффициент, учитывающий падение яркости при анаморфировании (из-за увеличения площади проецируемого изображения и потерь в оптических элементах анаморфотной насадки)*;

K₆ – коэффициент, учитывающий падение яркости при кашетировании матрицы до соотношения 2,35:1**;

β₀ – осевой коэффициент усиления яркости экрана;

S – площадь изображения полной матрицы на экране, м²;

L – нормированная яркость экрана, кд/м².

Расчёт требуемого светового потока при стереокинопоказе определяется максимальными размерами экранного изображения и параметрами используемых технических средств.

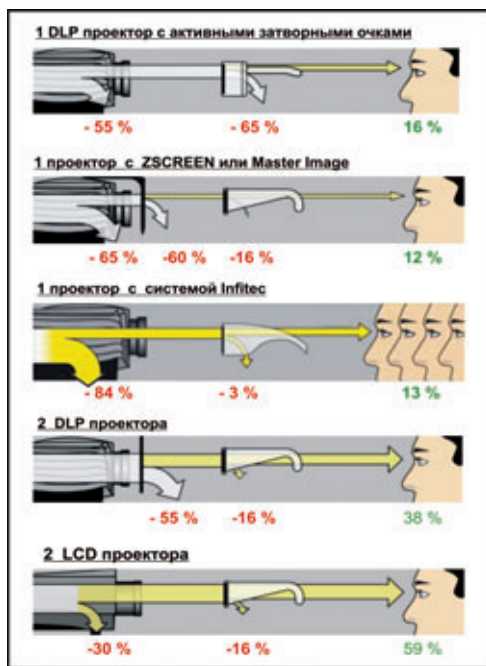


Рис. 10. Потери светового потока при различных технологиях цифрового стереокинопоказа. Зелёным цветом приведены величины светового потока, формирующего одно изображение стереопары, воспринимаемое одним глазом зрителя

*) K₅ принимается равным 1, если использование анаморфотной насадки не предусматривается;

**) K₆ принимается равным 1, если формат 2,35:1 реализуется с помощью анаморфотной насадки.

В случае определения требуемой величины светового потока F для формата 1,9 : 1 через ширину экрана $W_{2,35}$ с учётом соотношения

$$S_{1,9} = 0,33W_{2,35}^2$$

формула принимает вид:

$$F = \frac{0,33 \cdot K_1 \cdot K_2}{K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot \beta_0} \cdot \pi \cdot W_{2,35}^2 \cdot L \quad (2)$$

Для случая определения требуемой величины светового потока F через высоту экрана H с учётом соотношения

$$S_{1,9} = 1,9H^2$$

формула принимает вид:

$$F = \frac{1,9 \cdot K_1 \cdot K_2}{K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot \beta_0} \cdot \pi \cdot H^2 \cdot L \quad (3)$$

Принимая значения коэффициентов

$$\begin{aligned} K_1 &= 0,75; \\ K_2 &= 1,15; \\ K_3 &= 0,85 \end{aligned}$$

и нормированную яркость $L = 48$ кд/м²,

получаем шесть формул расчёта светового потока для трёх форматов стереопроекции (через ширину или высоту экранного изображения для каждого из трёх форматов) (табл. 1)

Табл. 1. Определение величины необходимого светового потока проектора для цифровой стереокинопроекции по ширине или высоте экранного изображения с учётом коэффициента яркости экрана

Формат	1,9:1	2,35:1 анаморфированный	2,35:1 кашетируванный
К ₄	0,15	0,15	0,15
К ₅	1,0	0,71	1,0
К ₆	1,0	1,0	0,63
F(W)	$336,5 \cdot \frac{W_{2,35}^2}{\beta_0}$	$473,9 \cdot \frac{W_{2,35}^2}{\beta_0}$	$534,1 \cdot \frac{W_{2,35}^2}{\beta_0}$
F(H)	$1927,1 \cdot \frac{H^2}{\beta_0}$	$2714,2 \cdot \frac{H^2}{\beta_0}$	$3058,9 \cdot \frac{H^2}{\beta_0}$

Используя полученные формулы и соотношения, можно решать обратную задачу и определять максимально допустимую ширину экрана при заданной величине светового потока проектора. В таблице 2 приведены значе-

ния световых потоков наиболее распространённых моделей цифровых проекторов. В качестве примера рассчитаем предельную ширину экрана для проекции с кашетируванным изображением в формате 2,35:1 самого мощного из существующих на сегодня проекторов со световым потоком 30 000 лм. В результате расчёта получаем, что при коэффициенте усиления яркости экрана $\beta_0 = 1$ ширина изображения не должна превышать 7,5 м, а в случае применения светосильного экрана с осевым коэффициентом усиления яркости $\beta_0 = 2,4$ ширина экрана не должна быть более 11,6 м.

Табл. 2. Значения мощности ксеноновых ламп и световых потоков современных цифровых кинопроекторов

	Lamps (kw)	Max Lumens
CHRISTIE		
CP 2000		
SB/XB		30 000
ZX	3 (SD LAMP)	17 000
	3	14 000
M	2	12 000
BARCO		
DP 3000	6.5	30 000
DP 2000	4	18 000
DP 1500	3	14 000
DP 1200	2	11 000
NEC		
NC 2500S	6	26 000
NC 16000C	4	17 000
NC 800C	1.25	6 400
SONY		
SRX R220	4.2	18 000
SRX R210	3	13 000

Таковы условия качественного стереокинопоказа, обеспечивающего уровень воспринимаемой яркости изображения, соответствующий современным международным стандартам яркости для обычного кинопоказа.

Применение направленных экранов позволяет увеличить яркость и, соответственно, их размеры, но при этом необходимо учитывать, что применять светосильные экраны можно в сравнительно узких залах и при условии ограничения числа боковых зрительских мест в первых рядах из-за ухудшения равномерности яркости.

Проблема совместимости обычного и стереоскопического видов кинопроекции в одном кинозале

Демонстрация стереофильмов может производиться как в залах, переоборудованных или спроектированных специально для стереокинопоказа, так и в универсальных залах, предназначенных для демонстрации как стерео, так и обычных фильмов. Как уже было отмечено выше, можно достичь необходимого уровня яркости воспринимаемого стереокиноизображения, увеличив свето-

вой поток кинопроектора в $6 \div 8$ раз. Однако осветительные системы современных цифровых проекторов изменять световой поток в таком диапазоне не позволяют.

Для цифровой кинопроекции принятая норма яркости составляет $48 \pm 10,2$ кд/м². В кинозалах, в которых сегодня демонстрируются как 2D-, так и 3D-фильмы, уровень яркости в пределах этого диапазона, как правило, выдерживается только для обычных фильмов, а пониженный в несколько раз уровень воспринимаемой яркости стереоизображения становится одной из главных причин дискомфорта восприятия и значительно усиливает нагрузку на зрительную систему.

Известны попытки хотя бы частично решить эту проблему, используя только один проектор. Световые параметры проекции подбирали таким образом, чтобы при 70% номинальной мощности лампы (это предельно допустимый минимальный уровень мощности ксеноновой лампы) яркость экрана была близка к максимально допустимому значению, равному $58,2$ кд/м². При переходе в режим стереопроекции мощность доводилась до 100%. Несложно подсчитать, что при таком варьировании мощности воспринимаемая яркость при стереокинопроекции будет колебаться (в зависимости от системы сепарации) в пределах от $10,7$ до $14,3$ кд/м². Если норму воспринимаемой яркости (измеряемой сквозь фильтр стереочков) принимать равной 48 кд/м², то в этом случае она окажется заниженной в $3,4 \div 4,5$ раза.

Если же световой поток проектора выбирать исходя из воспринимаемой яркости при стереопроекции, то яркость изображения после перехода в режим обычной 2D проекции в несколько раз превысит нормированную.

Вышеизложенное означает, что проблему качественной демонстрации стереоскопических и обычных фильмов в универсальных залах, с применением одного и того же цифрового проектора, на сегодняшнем этапе решить нельзя. Но решение этой проблемы окажется возможным, если использовать два цифровых проектора. При этом есть различные решения в зависимости от совокупности исходных параметров зала.

Вариант первый. Зал с экраном, размеры которого позволяют обеспечить необходимую яркость при стереопроекции одним цифровым проектором. В этом случае для обеспечения необходимой яркости при стереопоказе и нормированной яркости при обычном кинопоказе рекомендуется использовать два проектора с различным световым потоком. Один из них, для обычной проекции должен обеспечивать яркость $48 \pm 10,2$ кд/м², для стереопоказа световой поток проектора должен быть в $6-8$ раз выше (в зависимости от вида сепарации).

Вариант второй. Зал с большим экраном, размеры которого не позволяют обеспечить необходимую яркость при стереопроекции одним проектором. В этом варианте для стереопроекции рекомендуется использование двух одинаковых цифровых проекторов, один из которых отображает последовательность левых, а другой – правых изображений стереопары. Принципиально возмож-

но применение большего (но обязательно чётного) количества проекторов.

В этом случае могут быть использованы два метода сепарации:

- поляризационный, для этого требуются: недеполяризующий (металлизированный) экран, поляризационные светофильтры с линейной или циркулярной поляризацией светового потока и стереочки с соответствующим типом поляризации.

- спектральнональный, с любым типом экрана; на пути световых потоков устанавливаются спектральные светофильтры, стереочки – спектральнональные.

Поляризационный метод сепарации обеспечивает более высокую яркость благодаря использованию светосильного металлизированного экрана и лучшие, по сравнению со спектральнональным методом, цветовые характеристики.

Данный вариант не предусматривает применение метода временной сепарации с активными затворными стереочками.

Следует учитывать, что при использовании для стереопроекции двух проекторов LCD с пассивными поляризационными очками воспринимаемая яркость (по данным фирмы Barco) составляет 59%, а при использовании технологии DLP – 38%.

Обычный кинопоказ осуществляется одним проектором в режиме пониженного светового потока.

Максимально допустимая яркость для обычной проекции составляет $58,2$ кд/м². Если она достигается при допустимом снижении на 30% мощности лампы, то воспринимаемая яркость при стереопроекции в режиме 100% мощности двумя проекторами LCD составит $49,1$ кд/м² (что соответствует норме), а двумя проекторами DLP – $31,6$ кд/м², что на 16% ниже нижнего предела нормированной яркости.

Последнее означает, что этот способ практически обеспечивает возможность реализации идеи универсального зала.

В универсальных залах следует учитывать необходимость более жёстких требований к размещению зрительских мест и предусматривать меры, ограничивающие использование некомфортных для просмотра стереофильмов кресел (например, использовать специальную разметку мест).

Решение о рекомендациях по применению вышеописанных технологий следует принять после разработки и принятия стандартов на параметры цифровой стереопроекции с учётом реальных характеристик цифровых проекторов, которые окажутся на рынке к моменту принятия стандартов. До принятия стандартов следует условно рекомендовать установку второго проектора в залах, которые используются как универсальные.

Необходимость нормирования основных параметров, определяющих качество стереокинопоказа и разработки стандартов в области стереокинематографа

Характер работы зрительной системы при рассмотрении экранной стереопары и при рассмотрении натур-

ных объектов различен. Поэтому стереокинопоказ, правильная организация которого должна обеспечивать выполнение требований к техническим средствам стереопроекции и требований к кинозалу, должен регламентироваться как набором параметров, определяющих качество обычного стереокинопоказа, так и рядом дополнительных параметров, позволяющих приблизить условия восприятия объёмно-пространственной картины, формируемой в кинозале, к естественным условиям.

При этом требования к отдельным параметрам, общим для обоих видов кинопоказа, должны быть более жёсткими для стереокинопоказа. Например, восприятие стереоизображения, в отличие от обычного киноизображения, в значительной степени зависит от месторасположения зрителя по отношению к экрану. Проведённые в разное время исследования, накопленный опыт в части переоборудования кинотеатров для стереопоказа, а также анализ зрительских оценок показали, что очень важным является правильный выбор границ зоны зрительских мест. В первую очередь это относится к ограничению количества мест в первых рядах и, что особенно важно, к увеличению минимально допустимого расстояния от экрана до первого ряда зрителей.

Стереокинематограф отличается от традиционных двухмерных видов кинематографа рядом принципиальных особенностей:

- фиксация киноизображения в двух ракурсах, что налагает особые требования к одинаковости параметров изображений стереопары;
- увеличение размеров изображений стереопары до размеров экрана, которые определяют диапазон параллакса и являются основой для расчёта параметров стереосъёмки;
- раздельное предъявление изображений стереопары левому и правому глазу зрителя, что делает необходимым использование зрителями стереочков, которые создают дополнительный дискомфорт, особенно для тех зрителей, которым приходится надевать стереочки на собственные корректирующие;
- необходимость согласования параметров экранной стереопары с особенностями стереоскопического зрения человека с целью уменьшения нагрузки на зрительную систему.

Эти особенности накладывают определённые требования как на параметры стереопары, закладываемые в плёночную либо цифровую стереофильмокопию, так и на условия демонстрации стереофильмов в кинотеатрах. В НИКФИ составлен и предложен для разработки международного стандарта перечень параметров и характеристик, определяющих качество стереокинопоказа. В этот перечень входят светотехнические параметры, параметры зрительного зала, специальные требования к параметрам стереопары и стереопроекции.

Возросший в последние годы интерес к стереоскопическому кинематографу привёл к созданию новых технических средств и технологий, используемых на различных ста-

диях производства и демонстрации стереофильмов.

Прокат цифровых стереофильмов (3D-фильмов) оказался коммерчески успешным. В результате, из-за дефицита стереоконтента многие 2D-фильмы преобразуются в 3D-формат. Такое преобразование позволяет получить стереоизображение, как правило, невысокого качества, часто с нарушением пространственных соотношений и наличием других искажений, не позволяющих комфортно воспринимать стереоизображение.

В преобразованном 3D-фильме часто присутствует большое количество (до 80% и более) киноматериала, сохранённого в 2D-формате. Последнее является прямым обманом зрителя, оплачивающего то, чего он не получает. При этом замалчивается факт, что демонстрируемый фильм не является продуктом стереокиносъёмки или компьютерного синтеза в стереоформате.

При демонстрации стереофильмов не выполняются ряд требований, связанных с физиологической комфортностью восприятия стереокиноизображения. Как уже отмечалось выше, в большинстве кинотеатров яркость воспринимаемого стереоизображения в несколько раз ниже по сравнению с яркостью изображения при демонстрации в том же зале 2D-фильма. Большой дискомфорт вызывает просмотр киноизображений, полученных при неправильно выбранных параметрах стереосъёмки, а также синтезированных и комбинированных стереокинокадров, изготовленных с нарушением основных требований к стереоизображению.

Всё вышесказанное вызывает активную отрицательную реакцию у зрителей, многие из которых начинают терять интерес к стереокино. И если не принять необходимых мер, то стереокинозалы опустеют, как это уже не раз бывало в истории стереокино. Одной из таких мер, направленных на обеспечение качества стереокинопоказа, может стать разработка и утверждение нормативов и стандартов на параметры записи стереопар для кинотеатрального кинематографа и параметры качества стереокинопроекции. ■

ЛИТЕРАТУРА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Digital Cinema Initiatives, LLC, Digital Cinema System Specification, Version 1.0, July 20, 2005. http://www.dcinovies.com/archives/spec_v1/
2. Digital Cinema Initiatives, LLC, Digital Cinema System Specification, Version 1.2, March 07, 2008. http://www.dcinovies.com/DCIDigitalCinemaSystemSpecv1_2.pdf
3. Digital Cinema Initiatives, LLC, Stereoscopic Digital Cinema Addendum, Version 1.0, July 11, 2007. http://www.dcinovies.com/DCI_Stereoscopic_DC_Addendum.pdf
4. ISO 26429-10:2009, Digital cinema (D-cinema) packaging -- Part 10: Stereoscopic picture track file.
5. PTM 19-77-94, Развитие и техническое оснащение киносети. М. Комитет Российской Федерации по кинематографии, 1994.
6. Stereoscopic Projection. http://www.barco.com/projection_systems/downloads/Barco_stereoscopic_proj.pdf