УДК 778.534.19
ББК 85.37

Раев О.Н.

К ВОПРОСУ СЪЁМКИ КАДРОВ, СКЛЕИВАЕМЫХ В ПАНОРАМУ

Раев Олег Николаевич, кандидат технических наук, доцент
E-mail: ncenter@list.ru
Всероссийский государственный институт кинематографии
им. С.А. Герасимова

В статье выполнен анализ допустимых параметров объективов и пространственного размещения киноаппаратов для получения серии кадров, которые могут быть склеены в панораму.

Разработан алгоритм определения оптимальных значений фокусного расстояния объективов; расстояния до объектов, на которые производится фокусировка; необходимого количества киноаппаратов, а также наличия проблемных зон в пространстве объектов съёмки, которые запишутся с потерями информации об объектах, в них находящихся.

Ключевые слова: панорамное изображение, панорамный фильм, склейка кадров, круговая панорама, вертикальная панорама, сферическая панорама.

ВВЕДЕНИЕ

Интерес зрителя к просматриваемому им киноизображению, к тому, что происходит в кинофильме, зависит не только от содержания кинофильма и профессионализма, с которым он создан авторами, но и от того, как кинофильм демонстрируется зрителю и как киноизображение согласуется со зрением человека. Вовлечённость

зрителя в события кинофильма зависит, в том числе, от пространственного угла, в пределах которого зритель видит киноизображение.

В кинотеатре обычный кинофильм демонстрируется зрителям путём проецирования киноизображения кинопроектором на экран, перед которым установлены зрительские места. При этом, если формат демонстрируемого киноизображения соответствует нормальному кадру, составляющему 1,37:1, то ширина киноизображения на экране в 1,37 раз превышает высоту киноизображения [1].

В обычном кинематографе киноизображение воспринимается зрителем в пределах пространственного угла, существенно меньшем, чем угол поля зрения глаза человека — границы поля зрения глаза взрослого человека с нормальным зрением в среднем соответствуют 60° с носовой стороны, 90° — с височной, 50° — с нижней и 70° — с верхней [9], а оба глаза по горизонтали воспринимают зрительную информацию примерно в пределах 180°.

Пространственный угол, в пределах которого зритель видит киноизображение, существенно зависит от расстояния зрителя до экрана, в традиционном кинематографе этот угол всегда намного меньше угла поля зрения человека, поэтому зритель воспринимает киноизображение как бы через окно, обрамлённое тёмным фоном.

Очевидно, что чем ближе зритель к экрану, тем больше угловой размер наблюдаемого им киноизображения, тем бóльшую площадь занимает изображение экрана на сетчатке глаза, что способствует усилению вовлечённости зрителя в демонстрируемое ему киноизображение. Однако близко к экрану поместить зрителя нельзя, поскольку необходимо обеспечить для зрителя комфортные условия наблюдения киноизображения, чтобы зритель видел изображение резким в плёночном кинематографе и не видел отдельных пикселей в цифровом кинематографе.

Увеличить угловой размер наблюдаемого киноизображения можно не только за счёт приближения зрителя к экрану, но и за счёт увеличения размеров киноизображения на экране, а это возможно либо при увеличении размеров кадра при киносъёмке, либо при увеличении разрешающей способности в киноизображении, либо при увеличении обоих параметров одновременно.

Увеличение размеров кадра при киносъёмке привело к появлению широкоэкранного и широкоформатного кинематографа. При

демонстрации в кинотеатре широкоэкранных и широкоформатных кинофильмов зритель видит киноизображение под бóльшим углом по сравнению с обычным кинофильмом, что усиливает вовлечённость зрителя в события, происходящие в кинофильме.

Дополнительно увеличить угловой размер наблюдаемого киноизображения можно сборкой единого киноизображения из серии отдельных киноизображений прилегающих зон пространства объектов съёмки, одновременно выводимых на киноэкран. Для этого производится синхронная киносъёмка несколькими камерами, направленными в разные, но прилегающие друг к другу, стороны. При кинопоказе количество кинопроекторов равно количеству участвовавших в киносъёмке киносъёмочных аппаратов. Пространственное размещение кинопроекторов и направление оптических осей их объективов должны быть такими, чтобы отдельные изображения, формируемые каждым кинопроектором, в совокупности собирались в единое изображение. Такая технология создания киноизображения позволяет увеличить угловой размер возможного наблюдения киноизображения на любую величину, вплоть до 360° в круговой (цилиндрической) кинопанораме, когда киносъёмочные аппараты располагаются горизонтально по кругу, и в полнокупольной (сферической) кинопанораме, когда киносъёмочные аппараты расположены на условной сферической поверхности, [3, 4, 13].

Современные кинотехнологии предоставили широкие возможности обработки киноизображений, в том числе позволяют на компьютере из отдельных кадров, полученных при съёмке разными киносъёмочными аппаратами, составлять единую пространственную модель киноизображения и выводить в каждый момент времени только ту её часть, которая соответствует направлению, куда смотрит зритель, поскольку всё, что находится за пределами поля зрения зрителя, он всё-равно не видит. В этом случае зритель может просматривать киноизображение на обычном компьютерном мониторе или телевизоре, управляя мышкой или джойстиком направлением виртуального взора, в соответствии с которым из единой пространственной модели киноизображения вырезается и демонстрируется на экране только та её часть, которая соответствует направлению виртуального взора и размерам экрана.

Другой вариант технической реализации средств демонстрации панорамного киноизображения это так называемые «шлемы

виртуальной реальности». Данная технология демонстрации киноизображений заключается в том, что каждый зритель индивидуально просматривает кинофильм с помощью надеваемого на голову шлема виртуальной реальности. Установленные на корпусе шлема гироскоп, инфракрасные датчики положения головы, акселерометр отслеживают движение головы зрителя, что позволяет корректировать изображение, выводимое на экран дисплея, в зависимости от показаний этих датчиков. В результате в каждый момент времени зрителю демонстрируется то изображение, которое соответствует направлению его головы, её поворотам и наклонам (изменениям направления взора), при этом изображение формируется и демонстрируется каждому глазу зрителя в режиме реального времени. По сути это сферическая панорама, демонстрируемая каждому зрителю индивидуально с помощью шлема. Одновременно с корректировкой изображения происходит корректировка акустической картины, реализуемая за счёт применения индивидуальных стереонаушников, установленных на шлеме виртуальной реальности.

В этой технологии могут быть задействованы и другие средства воздействия на органы чувств человека: движение кресла, движение воздуха рядом со зрителем, разбрызгивание капелек воды, распыление ароматических веществ и т. д. И всё это ради того, чтобы обеспечить наиболее полное погружение зрителя в наблюдаемое им киноизображение.

Для творцов кинофильмов отдельно отметим, что увеличение пространственного угла, в пределах которого зритель видит киноизображение, в восприятии зрителя увеличивает размеры окна, через которое он воспринимает киноизображение. Даже если размеры этого угла увеличить до 180°, малейший поворот взора зрителя приведёт к тому, что какая-то из границ киноизображения окажется на периферии зрения. Поэтому воздействие такого кинофильма на зрителя, конечно же, усилится, но всё-равно будет ограниченным. Но если достигнуть угла в 360°, то зритель оказывается в центре событий, демонстрируемых в кинофильме, и может смотреть в любую сторону, даже не в ту, где происходят главные драматургические события. Получается, что при выполнении технической задачи, позволяющей усилить вовлечённость зрителя в киноизображение, новые технические средства порождают изменение возможностей реализации творческих замыслов авторов

кинофильмов, изменение изобразительного киноязыка, поскольку не все приёмы выработанные в традиционном кинематографе, будут допустимы в панорамном кинофильме, а, возможно, и необходимость разработки специального киноязыка для панорамного кинематографа [12].

С технической точки зрения при киносъёмке панорамного кинофильма главной задачей является расчёт и установка направлений оптических осей объективов киноаппаратов, чтобы не было потери какой-либо части изображений объектов съёмки.

В случае фотосъёмки горизонтального или вертикального панорамного кадра статичных объектов при неизменных условиях освещения идеальным вариантом является фотосъёмка одним фотоаппаратом, поворачивая его после экспонирования каждого отдельного кадра вокруг задней узловой точки объектива, которая совпадает с задней главной точкой объектива, если вокруг объектива воздух [7]. Рекомендуется [2, 5, 11] снимать соседние кадры таким образом, чтобы они накладывались друг на друга не менее, чем на 20% ширины кадра. Это облегчает последующую компьютерную корректировку отдельных изображений по масштабу, наклону, линейным и экспозиционным искажениям и сборку откорректированных отдельных изображений в единую панорамную фотографию.

Рассмотренный метод получения панорамной фотографии одним фотоаппаратом неприемлем для киносъёмки, поскольку снимать необходимо все кадры одновременно, а разместить в одной точке пространства задние узловые точки нескольких объективов технически невозможно. Поэтому панорамная киносъёмка производится киноаппаратами, расположенными таким образом, чтобы оптические оси их объективов пересекались в одной точке пространства. Эта точка пространства может находится между объективами и снимаемыми объектами, но в этом случае возможна панорамная съёмка только части пространства, по углу меньшей 180°, так как иначе в поле зрения крайнего объектива попадёт киносъёмочный аппарат, находящийся с противоположного края.

Для киносъёмки в формате 360° точка пересечения оптических осей объективов должна находится за киносъёмочными аппаратами, т. е. киноаппараты должны располагаться на условном кругу или сфере, в центре которого или которой будет находится точка пересечения оптических осей всех объективов.

Для оценки необходимого количества киноаппаратов сначала рассмотрим угол поля зрения объектива.

УГОЛ ПОЛЯ ЗРЕНИЯ

У объектива угол поля зрения пространства объектов съёмки равен удвоенному углу, образованному оптической осью и лучом, проходящим через центр входного зрачка и край входного окна, под которым понимается изображение диафрагмы (оправы объектива) поля зрения, которая больше других диафрагм ограничивает поперечные размеры изображаемых объектов [7]. Аналогично угол поля зрения пространства изображений это удвоенный угол, образованный оптической осью и лучом, проходящим через центр выходного зрачка и край выходного окна. В описании объективов приводится именно это значение угла поля зрения.

Очевидно, что угол поля зрения киносъёмочного объектива должен быть таким, чтобы всё кадровое окно гарантированно было заполнено изображениями объектов съёмки. Иначе периферийные части кадра окажутся не экспонированными. Поэтому угол поля зрения объектива с некоторым запасом превышает необходимое для бездефектной киносъёмки значение.

Когда объектив установлен на киносъёмочном аппарате, то роль диафрагмы поля зрения выполняет кадровое окно, определяющее размеры записываемого кадра (рис. 1). В плёночном киноаппарате это реальное окно в передней салазке фильмового канала. В цифровом киноаппарате размеры кадрового окна определяются размерами той части светочувствительного слоя матрицы, с которой будет записан сигнал киноизображения.

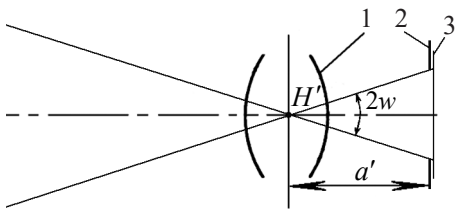

Рис. 1. Угол поля зрения $2w$ киносъёмочного аппарата:
1 — объектив, 2 — кадровое окно, 3 — светочувствительный слой, H' — задняя главная точка объектива, a' — расстояние от задней главной точки объектива до светочувствительного слоя вдоль оптической оси объектива

Поэтому угол поля зрения киносъёмочного аппарата равен:

$$2w = 2\mathrm{arctg}\left(\frac{c}{2a'}\right), \qquad (1)$$

где c — диагональ кадрового окна, a' — расстояние от задней главной точки объектива до светочувствительного слоя.

При записи горизонтального панорамного киноизображения важным является не полный угол поля зрения киносъёмочного аппарата, а горизонтальный угол поля зрения киноаппарата. В этом случае необходимо использовать следующее уравнение:

$$2w = 2\mathrm{arctg}\left(\frac{b}{2a'}\right), \qquad (2)$$

где b — ширина кадрового окна.

Из теории оптических систем [6–8, 10] известно, что отрезок a' связан с расстоянием a от передней главной точки объектива до объекта съёмки и задним фокусным расстоянием f' формулой Гаусса (формулой в отрезках) [7]:

$$\frac{1}{a'} + \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}. \qquad (3)$$

При киносъёмке пространство объектов съёмки наполнено различными объектами, расположенными на разном расстоянии от киносъёмочного аппарата. А из формулы (3) следует, что чем дальше от объектива находится объект съёмки, тем ближе к объек-

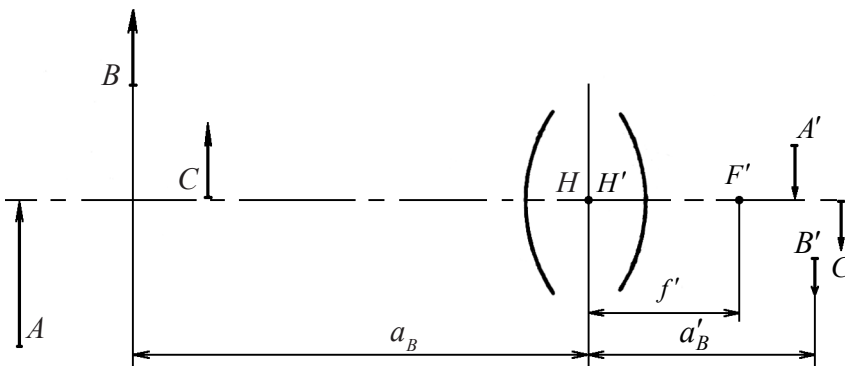

Рис. 2. Схема расположения объектов съёмки A, B, C и их изображений A', B', C' относительно объектива:
F' — задняя фокальная точка объектива; H и H' — передняя и задняя главные точки объектива (на рисунке условно показаны совмещёнными)

тиву будет сформировано оптическое изображение этого объекта (рис. 2). Изображения бесконечно удалённых объектов будут сформированы в задней фокальной плоскости объектива. Изображения остальных объектов формируются за задней фокальной плоскостью, причём чем ближе объект съёмки к объективу, тем дальше изображение этого объекта от задней фокальной плоскости.

Таким образом, объектив формирует трёхмерное пространство изображений объектов съёмки, а записывается киноизображение плоским светочувствительным слоем киноплёнки или матрицы. В результате максимально резкими запишутся изображения тех объектов съёмки, которые совпадут со светочувствительным слоем, изображения остальных объектов съёмки запишутся нерезкими, причём чем дальше изображение объекта от светочувствительного слоя, тем больше его нерезкость в киноизображении.

Поэтому при киносъёмке оператор выполняет операцию наводки на резкость, для этого кинооператор перемещает объектив вдоль оптической оси таким образом, чтобы совместить изображение сюжетно важного объекта съёмки (например, зрачки глаз главного актёра в кадре) со светочувствительным слоем, чтобы изображение сюжетно важного объекта съёмки было наиболее резким в киноизображении. Например, если необходимо сфокусироваться на объект B (см. рис. 2), то это означает, что кинооператор выполняет операцию совмещения плоскости изображения B' с поверхностью светочувствительного слоя киноплёнки или матрицы.

Преобразуем формулу (3) к следующему виду:

$$a' = \frac{af'}{a - f'}. \tag{4}$$

Подставляя (4) в формулу (2), получаем

$$2w = 2\mathrm{arctg}\left(\frac{b(a - f')}{2af'}\right). \tag{5}$$

Из формулы (5) следует, что горизонтальный угол поля зрения $2w$ киносъёмочного аппарата максимален, когда объектив сфокусирован на объекты, находящиеся в бесконечности (прямая 1 на рис. 3). Во всех остальных случаях объектив смещается во время фокусировки вдоль оптической оси дальше от светочувствительного слоя, в результате чего угол поля зрения уменьшается (кривая 2 на рис. 3).

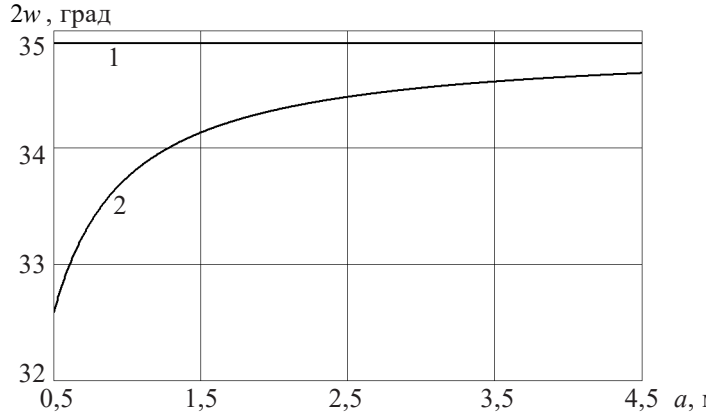

Рис. 3. Горизонтальный угол поля зрения $2w$ киносъёмочного аппарата при $f' = 35$ мм, $b = 22$ мм:
1 — максимальный угол $2w$;
2 — изменение угла $2w$ в зависимости от расстояния a до объекта съёмки, на который произведена наводка на резкость

НЕОБХОДИМОЕ КОЛИЧЕСТВО КИНОАППАРАТОВ ДЛЯ СЪЁМКИ КРУГОВОЙ ПАНОРАМЫ

Как показано выше, при расчёте необходимого количества киносъёмочных аппаратов для получения круговой панорамы исходным параметром является горизонтальный угол поля зрения $2w$ киносъёмочного аппарата, рассчитанный при минимальном расстоянии a от главной передней плоскости объектива до ближайшего объекта съёмки, по которому кинооператор может наводиться на резкость.

Тогда необходимое количество n киносъёмочных аппаратов легко определить следующим образом: рассчитывается отношение

$$k = \frac{2\pi}{2w} \tag{6}$$

и из конструктивных соображений выбирается целое число n, превышающее полученное значение k. Например, если угол $2w = 32°$, то $k = 11{,}25$ и, следовательно, необходимое количество киносъёмочных аппаратов равно 12.

При этом оптимальное фокусное расстояние объектива равно

$$f' = \frac{ba}{2a \cdot \mathrm{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right) + b}. \tag{7}$$

Допустимо применение объективов с меньшим фокусным расстоянием. Однако значительно уменьшать фокусное расстояние объектива не рекомендуется, поскольку, хотя уменьшение фокусного расстояния объектива и приводит к увеличению угла поля зрения, а значит к сокращению количества необходимых киносъёмочных аппаратов, но одновременно увеличивает пространственные искажения в изображениях записываемых объектов и искажения глубины пространства.

Дополнительно отметим, что при киносъёмке фокусное расстояние, наводка на резкость, значение апертурной диафрагмы и ISO светочувствительного слоя на всех киноаппаратах должны быть одинаковыми, а работа всех киносъёмочных аппаратов должна быть синхронизирована.

ПРОБЛЕМНЫЕ ЗОНЫ СЪЁМОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА

Поскольку точка пересечения оптических осей объективов смещена относительно задних главных точек объективов, то крайние лучи горизонтальных углов поля зрения $2w$ соседних киносъёмочных аппаратов никогда не совпадают. Поэтому при панорамной киносъёмке часть объектов съёмки может быть запечатлена на двух соседних кадрах, а некоторые объекты съёмки могут не попасть в панорамное киноизображение.

Проанализируем это явление. Для этого, не сужая общности рассуждений, рассмотрим согласование полей зрения двух соседних киносъёмочных аппаратов (рис. 4).

Пусть точка пересечения оптических осей всех объективов находится за киносъёмочными аппаратами на одинаковом расстоянии d от каждого светочувствительного слоя.

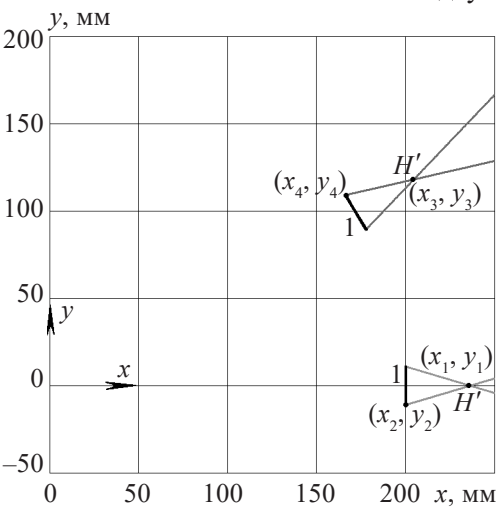

Рис. 4. Система координат $x0y$:
1 — кадровые окна; (x_1, y_1) и (x_3, y_3) — координаты задних главных точек объективов; (x_2, y_2) и (x_4, y_4) — координаты крайних точек кадровых окон

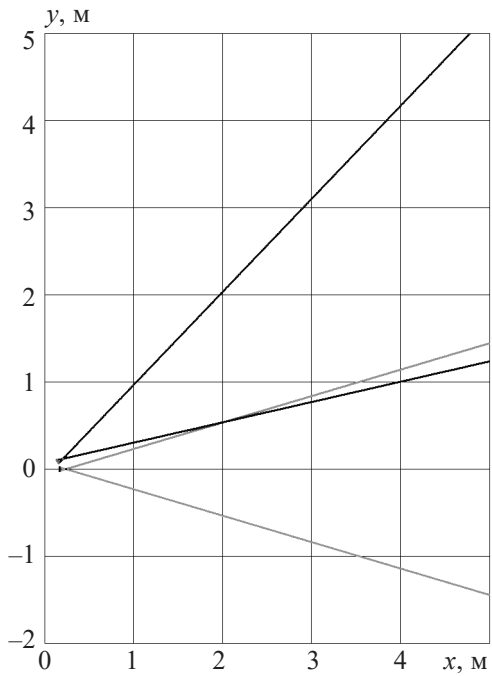

Рис. 5. Углы поля зрения двух киноаппаратов при f' = 35 мм, b = 22 мм, a = = 1000 мм, d = 200 мм, k = 10,67, n = 12

Введём в рассмотрение прямоугольную систему координат с началом координат в точке пересечения оптических осей объективов. Ось x направим горизонтально вдоль оптической оси объектива в сторону объектов съёмки, записываемых этим объективом, ось y — перпендикулярно оси x в горизонтальной плоскости.

Для описания линий, ограничивающих углы полей зрения соседних киносъёмочных аппаратов определим координаты (x_1, y_1) и (x_3, y_3) задних главных точек объективов и координаты крайних, максимально удалённых друг от друга, точек кадровых окон (x_2, y_2) и (x_4, y_4):

$$x_1 = a' + d,\ y_1 = 0, \tag{8}$$

$$x_2 = d,\ y_2 = -\frac{b}{2}, \tag{9}$$

$$x_3 = \left(a' + d\right)\cos\alpha,\ y_3 = \left(a' + d\right)\sin\alpha, \tag{10}$$

$$x_4 = d\cos\alpha - \frac{b}{2}\sin\alpha,\ y_4 = d\sin\alpha + \frac{b}{2}\cos\alpha. \tag{11}$$

Из аналитической геометрии известно, что уравнение прямой линии, проходящей через две точки (x_1, y_1) и (x_2, y_2), описывается уравнением

$$\left(y_1 - y_2\right)x + \left(x_2 - x_1\right)y + \left(x_1 y_2 - x_2 y_1\right) = 0. \tag{12}$$

Подставляя значения координат точек из уравнений (8) и (9) в уравнение (12) и выполняя несложные преобразования, получаем

уравнение, описывающее линию, ограничивающую угол поля зрения первого киносъёмочного аппарата (верхнюю на рис. 5):

$$y = \frac{b\left(x - a' - d\right)}{2a'}. \tag{13}$$

Аналогично из (10)–(12) получаем уравнение, описывающее линию, ограничивающую угол поля зрения второго киносъёмочного аппарата (нижнюю для верхнего киноаппарата на рис. 5):

$$y = \frac{\frac{b}{2}\left(a' + d\right) - x\left(\frac{b}{2}\cos\alpha + a'\sin\alpha\right)}{\frac{b}{2}\sin\alpha - a'\cos\alpha}. \tag{14}$$

Совместное решение уравнений (13) и (14) даёт координаты ($x_{\text{пер}}$, $y_{\text{пер}}$) точки пересечения этих прямых:

$$x_{\text{пер}} = \frac{\frac{b}{2}\left(a'\cos\alpha + \frac{b}{2}\sin\alpha + a'\right)\left(a' + d\right)}{\frac{b}{2}\left(2a'\cos\alpha + \frac{b}{2}\sin\alpha\right) - \left(a'\right)^2\sin\alpha}, \tag{15}$$

$$y_{\text{пер}} = \frac{b\left(x_{\text{пер}} - a' - d\right)}{2a'}, \tag{16}$$

которые позволяют рассчитать расстояние до точки ($x_{\text{пер}}$, $y_{\text{пер}}$)

$$l = \sqrt{x_{\text{пер}}^2 + y_{\text{пер}}^2}. \tag{17}$$

На рис. 6 приведён пример зависимости расстояния l от расстояния a до объекта, по которому произведена наводка на резкость.

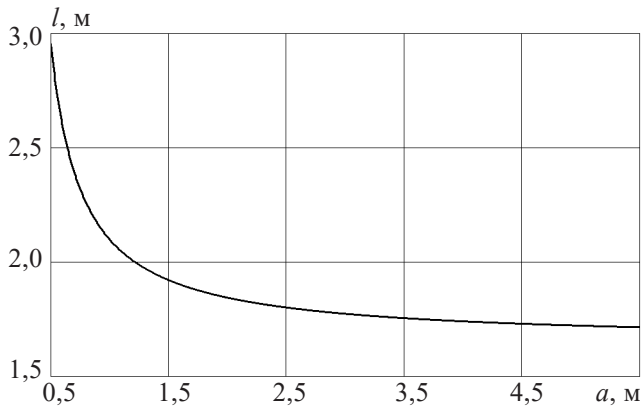

Рис. 6. Расстояние l до точки пересечения крайних лучей полей зрения двух соседних киносъёмочных аппаратов при f' = 35 мм, b = 22 мм, d = = 200 мм, k = 10,67, n = 12

Таким образом, если объект съёмки находится между пересекающимися линиями, ограничивающими поля зрения двух соседних киноаппаратов, на расстоянии, меньшем *l*, то его изображение или часть его изображения будет утеряна. Поэтому при киносъёмке необходимо следить, чтобы ни один из объектов съёмки не был ближе расстояния *l*. Увеличение количества киносъёмочных аппаратов не устраняет этот дефект полностью, хотя и уменьшает *l*.

Дополнительно отметим: если объект съёмки находится между оптическими осями объективов двух соседних киноаппаратов на расстоянии, превышающем *l*, то его изображение или часть его изображения дважды запишется на двух соседних кадрах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана математическая модель расчёта параметров киносъёмки панорамного кинофильма, которая позволила сделать следующие выводы:

1. При расчётах необходимого количества киносъёмочных аппаратов для круговой кинопанорамы исходным параметром должен быть горизонтальный угол поля зрения киносъёмочных аппаратов.

2. В пространстве объектов съёмки существуют зоны, попадая в которые объекты съёмки запишутся либо дважды, либо пропадут в итоговом панорамном киноизображении.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Артюшин Л. Ф., Барский И. Д., Винокур А. И*. Справочник кинооператора. Москва : Галактика-Л, 1999. 256 с.

2. Бровкин Д., Щербаков С. Наложение швов // Foto&Video. 2004. № 7. [Электронный ресурс]. URL: http://www.foto-video.ru/tech/review/1932/ (дата обращения 14.08.2020).

3. *Голдовский Е. М*. Основы кинотехники. Москва : Искусство, 1965. 635 с.

4. *Грибов В. Д*. Анализ развития панорамного вида кинематографа на современном этапе // Инновационные технологии в медиаобразовании: Материалы II Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 29–30 мая 2017. Санкт-Петербург : СПбГИКиТ, 2018. С. 119–127.

5. Дегтярев С. Панорамная съёмка. [Электронный ресурс]. URL: https://mycanon.canon.ru/artworkshop/learning/details/2 (дата обращения 14.08.2020).

6. *Заказнов Н. П., Кирюшин С. И., Кузичев В. И.* Теория оптических систем. Москва : Машиностроение, 1992. 432 с.

7. Оптические приборы в машиностроении. Справочник. Москва : Машиностроение, 1974. 238 с.

8. Прикладная оптика: учебное пособие. 3-е изд., стер. / под ред. Н. П. Заказнова. Санкт-Петребург : Лань, 2009. 320 с.

9. *Рожкова Г. И., Матвеев С. Г.* Зрение детей: проблема оценки и функциональной коррекции. Москва : Наука, 2007. 315 с.

10. *Слюсарев Г. Г.* Геометрическая оптика. 2-е изд. Москва : URSS, 2019. 331 с.

11. Создание и редактирование панорамных изображений. [Электронный ресурс]. URL: https://helpx.adobe.com/ru/photoshop/using/create-panoramic-images-photomerge.html (дата обращения 14.08.2020).

12. *Соловьева М. В.* В поисках подхода к драматургии панорамного фильма // Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе, науке, образовании и в других областях: XII Международная научно-практическая конференция, Москва, 17–18 сентября 2020 г.: Материалы и доклады. Москва : КУНА, 2020. С. 146–154.

13. *Тарасенко Л. Г., Чекалин Д. Г.* Кинозрелища и киноаттракционы. Справочник. Москва : Парадиз, 2003. 184 с.

Oleg N. Raev

ON THE ISSUE OF PANORAMIC SHOTS

Oleg N. Raev, PhD (Engineering), assistant professor
E-mail: ncenter@list.ru
Russian Federation State Institute of Cinematography
named after S.A. Gerasimov

The article analyzes acceptable parameters of lenses and spatial location of cameras to obtain a series of frames that can be glued together in the panorama.

An algorithm has been developed for determining the optimal values of lens focal lengths; the distance to the objects to be focused on; the required number of cameras; and the presence of problem zones in the space of shooting objects that will be recorded with the loss of information about the objects in them.

Key words: panoramic image, panoramic film, frame gluing, circular panorama, vertical panorama, spherical panorama.

REFERENCES

1. Artyushin L. F., Barskii I. D., Vinokur A. I. Spravochnik kinooperatora. Moscow : Galaktika-L, 1999. 256 p.

2. Brovkin D., Shcherbakov S. Nalozhenie shvov // Foto&Video. 2004. No 7. [Elektronnyi resurs]. URL: http://www.foto-video.ru/tech/review/1932/ (data obrashcheniya 14.08.2020).

3. Goldovskii E. M. Osnovy kinotekhniki. Moscow : Iskusstvo, 1965. 635 p.

4. Gribov V. D. Analiz razvitiya panoramnogo vida kinematografa na sovremennom etape // Innovatsionnye tekhnologii v mediaobrazovanii: Materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, St. Petersburg, 29–30 may 2017. Sankt-Peterburg : SPbGIKiT, 2018. P. 119–127.

5. Degtyarev S. Panoramnaya s''emka. [Elektronnyi resurs]. URL: https://mycanon.canon.ru/artworkshop/learning/details/2 (data obrashcheniya 14.08.2020).

6. Zakaznov N. P., Kiryushin S. I., Kuzichev V. I. Teoriya opticheskikh sistem. Moscow : Mashinostroenie, 1992. 432 p.

7. Opticheskie pribory v mashinostroenii. Spravochnik. Moscow : Mashinostroenie, 1974. 238 p.

8. Prikladnaya optika: uchebnoe posobie. 3-e izd., ster. / pod red. N. P. Zakaznova. St. Petersburg : Lan', 2009. 320 p.

9. Rozhkova G. I., Matveev S. G. Zrenie detei: problema otsenki i funktsional'noi korrektsii. Moscow : Nauka, 2007. 315 p.

10. Slyusarev G. G. Geometricheskaya optika. 2-e izd. Moscow : URSS, 2019. 331 p.

11. Sozdanie i redaktirovanie panoramnykh izobrazhenii. [Elektronnyi resurs]. URL: https://helpx.adobe.com/ru/photoshop/using/create-panoramic-images-photomerge.html (data obrashcheniya 14.08.2020).

12. Solov'eva M. V. V poiskakh podkhoda k dramaturgii panoramnogo fil'ma // Zapis' i vosproizvedenie ob»emnykh izobrazhenii v kinematografe, nauke, obrazovanii i v drugikh oblastyakh: XII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, Moscow, 17–18 september 2020 g.: Materialy i doklady. Moscow : KUNA, 2020. P. 146–154.

13. Tarasenko L. G., Chekalin D. G. Kinozrelishcha i kinoattraktsiony. Spravochnik. Moscow : Paradiz, 2003. 184 p.