

БИОЛОГИЧЕСКАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ОПТИКА

УДК 612.843, 612.721

ВЛИЯНИЕ РАССТОЯНИЯ НАБЛЮДЕНИЯ НА ГЛУБИНУ ПРОСТРАНСТВА, ВОСПРОИЗВОДИМУЮ СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЕМ

© 2016 г. Н. Н. Красильников, доктор техн. наук

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Санкт-Петербург

E-mail: NNKrasilnikov@yandex.ru

Предложена гипотеза, объясняющая работу механизма, обеспечивающего содружественность саккадических движений оптических осей глаз при наблюдении реальных объектов и их изображений, в том числе стереоскопических. Показано, что для наблюдения стереоскопических изображений без эффекта двоения и возникновения ощущения дискомфорта необходимо, чтобы угловые значения экранных параллаксов не превышали бы некоторого критического значения. Показано, что с уменьшением расстояния наблюдения интервал дальностей, в котором стереоскопическое изображение воспринимается без эффекта двоения, быстро уменьшается, что не позволяет в условиях просмотра телевизионных передач, где расстояния наблюдения малы, получать высокое качество передачи глубины пространства в отличие от кинематографа, где эти расстояния велики. В целях увеличения передачи глубины пространства для просмотра 3D телевизионных передач предложено использовать 3D шлемы виртуальной реальности.

Ключевые слова: стереоскопическое изображение, конвертация, 2D изображение.

Коды OCIS: 100.6890.

Поступила в редакцию 04.05.2016.

Введение

В настоящее время происходит интенсивное развитие и внедрение 3D технологий в кино и телевидении, что привело к открытию большого количества 3D кинотеатров и появлению в продаже 3D телевизоров. Во всех этих системах объемное изображение сцены создается на основе использования стереоскопических изображений. Впервые устройство для просмотра стереоскопических изображений было продемонстрировано в 1837 г. Чарльзом Уитстоном, однако, до последнего времени особенности работы зрительной системы человека при наблюдении стереоскопических изображений остаются недостаточно исследованными. Дело в том, что условия наблюдения реальных объектов и их двумерных изображений отличаются от условий наблюдения стереоскопических изображений. В первом случае мы видим реальные объекты

и изображения, а во втором случае – мнимые стереоизображения. Поверхностные представления об этих различиях приводят к “сюрпризам”, которые проявляются по-разному в зависимости от расстояния зрителя до экрана и до объекта. Проявляться это может и в виде малой глубины пространства, и в виде головокружения, и в виде головной боли. Причиной этого является то, что при съёмке оператор устанавливает базу, расстояние до экрана и расстояние до снимаемого объекта, руководствуясь своим опытом и интуицией, причем не всегда правильно. В конечном итоге это приводит к увеличению затрат на съёмку фильма и увеличению процента неудачно снятых для просмотра фильмов. Все это тормозит дальнейшее развитие 3D кино.

Что же касается дальнейшего развития 3D телевидения, то причина, сдерживающая продажи, а, следовательно, и производство 3D телеви-

визоров, о которой избегают говорить, это неудовлетворительное воспроизведение глубины пространства на экранах 3D телевизоров. Сказанное относится не только к передачам, конвертация которых из формата 2D в формат 3D производится в самом телевизоре, но и к передачам, изначально снятым в 3D формате, т.е. в стереоскопическом формате. Неудовлетворительное воспроизведение глубины пространства на экранах 3D телевизоров в отличие от воспроизведения на экранах 3D кинотеатров обусловлено тем, что на экранах телевизоров изображения смотрят, как правило, с небольших расстояний, в то время как в кинотеатрах расстояния просмотра кинофильмов велики [1]. Целью публикуемой работы является исследование влияния расстояния наблюдения стереоскопического изображения на воспроизведимую глубину пространства.

Гипотеза о переводе проекции границ объекта в зону ясного видения сетчатки

Обращаясь к рассмотрению процессов, протекающих в зрительной системе человека при наблюдении объектов и их изображений, обратим внимание на то, что разрешающая способность сетчаток глаз неравномерно распределена по их поверхности, как это видно на рис. 1. В центре сетчатки каждого из глаз имеется область, называемая фовеолой, в которой фоторецепторы густо расположены и поэтому обеспе-

чивают высокое разрешение (высокую остроту зрения), в то время как остальная часть сетчатки обеспечивает низкое разрешение. Угловой размер фовеолы невелик, но на нее приходится около 80% всех рецепторов сетчатки. Поэтому зрительной системой наблюдаемое изображение рассматривается последовательно, частями. При наблюдении объекта или его изображения оптические оси глаз совершают содружественные саккадические движения с интервалом около 50–60 мс, фиксируясь, как показал Ярбус, на световых границах, создаваемых объектами [2, 3]. При этом изображение сканируется зонами ясного видения, размер которых определяется фовеолами левого и правого глаз. В результате этого процесса в зрительной коре создается нейронное изображение для дальнейшего анализа. Содружественность движений глаз (как известно, глаза человека функционально различаются между собой, поэтому выделяют ведущий и ведомый глаз) имеет ключевое значение для понимания процессов, происходящих в зрительной системе как при наблюдении реальных объектов, так и их изображений, особенно стереоскопических. Для описания механизма, посредством которого обеспечивается содружественность саккадических движений глаз, нами выдвинута следующая гипотеза. Согласно этой гипотезе при наблюдении реального объекта или его 2D изображения очередную саккаду первым начинает ведущий глаз и, заканчивая ее, фиксируется на световой границе. Затем информация о направлении оптической

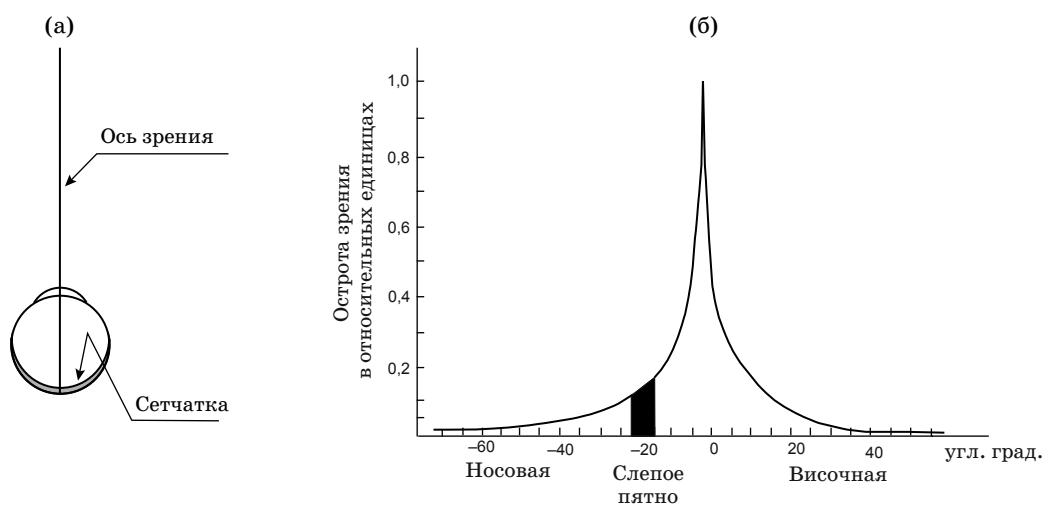


Рис. 1. Неравномерное распределение разрешающей способности сетчатки по поверхности глазного яблока. (а) – упрощенная схема строения глаза; (б) – зависимость остроты зрения от места раздражения на сетчатке. По оси абсцисс отложено расстояние проекции изображения от середины центральной ямки сетчатки в градусах, по оси ординат – острота зрения в относительных единицах.

оси ведущего глаза, а также расстояние до световой границы, которое приблизительно оценивается по его фокусировке, передается ведомому глазу, и он переводит свою оптическую ось приблизительно в ту же точку пространства, что и ведущий глаз. После этого ведомый глаз корректирует направления своей оптической оси и фокусировки таким образом, чтобы световая граница проецировалась в центр фовеолы, но так как корректировка невелика, то на нее затрачивается мало усилий и времени, и она проходит незаметно для зрителя. В результате описанной последовательности действий обеспечивается содружественность движений глаз – одни и те же световые границы проецируются в центры фовеол обоих глаз, что принципиально важно.

Особенность наблюдения стереоскопических изображений заключается в том, что левому и правому глазам при наблюдении предъявляются разные их компоненты, на которых положение одной и той же световой границы различается по горизонтали на величину экранного параллакса p . В этом случае, как и при наблюдении 2D изображения, ведущий глаз (пусть в рассматриваемом примере это будет левый глаз), совершая очередную саккаду, фиксируется на световой границе своего компонента стереоскопического изображения объекта таким образом, чтобы она оказалась в центре его зоны ясного видения, т.е. в центре фовеолы. Рисунок 2 поясняет сказанное. На этом рисунке оптическая ось ведущего глаза, обозначенная линией 1, направлена в точку, через которую проходит граница объекта на левом компоненте стереоскопического изображения Л. Затем, согласно предложенной гипотезе, ведомому глазу, как и в ранее рассмотренном случае, передается информация о пространственном положении точки Л, в которую направлен ведущий глаз, и оптическая ось ведомого глаза (в рассматриваемом примере правого) направляется в эту же точку пространства. На рис. 2 оптическая ось правого глаза, направленная в точку Л, показана пунктиром и обозначена цифрой 2. Но полученная ведомым глазом информация для него оказывается ложной, поскольку ведомому глазу предъявляется совсем другой компонент стереоскопического изображения, на котором в точке Л световая граница отсутствует. Напомним, что на компоненте, который предъявляется ведомому глазу (в рассматриваемом примере правому) световая граница смешена в горизон-

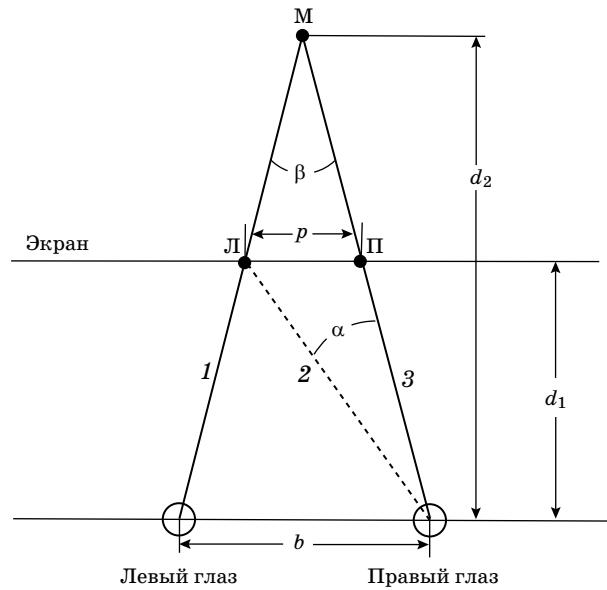


Рис. 2. Схема, поясняющая наблюдение стереоскопического изображения. Точками, обозначенными через П и Л, показаны места на экране через которые проходят вертикальные световые границы правого и левого компонентов стереоскопического изображения.

тальном направлении на величину экранного параллакса p относительно световой границы компонента, предъявляемого ведущему глазу и находится в точке П. Поэтому для ведомого глаза световая граница будет проецироваться не в центр фовеолы, а в область, смещенную относительно центра на величину, определяемую величиной экранного параллакса. По этой причине ведомый глаз корректирует положение своей оптической оси в пространстве так, чтобы проекция световой границы оказалась в центре его фовеолы, для чего оптическая ось ведомого глаза переместится в положение, показанное на рис. 2 линией 3 и произойдет захват световой границы. Однако для этого потребуется больше усилий и времени, чем в предыдущем случае, и тем больше, чем больше экранный параллакс, вследствие чего у зрителя возникает ощущение дискомфорта, возрастающее с увеличением экранного параллакса. При захвате световой границы, как это видно на рис. 2, продолжения оптических осей глаз сходятся в точке М расположения световой границы мнимого изображения объекта, угловой параллакс β при этом передается в зрительную кору, по величине которого определяется расстояние до световой границы мнимого изображения объекта, и стереоскопическое изображение воспринимается зрителем как объёмное.

В том случае, если значения экранного параллакса превышают некоторое критическое значение p_{cr} , требуемая корректировка оказывается чрезмерно большой и захвата световой границы не происходит. В результате этого возникает эффект так называемого двоения, заключающийся в том, что стереоскопическое изображение распадается на два плоских изображения, наложенных друг на друга. Нечто подобное происходит и в том случае, если компоненты стереоскопического изображения не выровнены по вертикали.

Из изложенного следуют два вывода.

Во-первых, так как зоны ясного видения не имеют четко выраженных границ, то критические значения экранных параллаксов p_{cr} , при которых возникает эффект двоения, также будут иметь значительный разброс.

Во-вторых, при расстояниях от зрителя до экрана, превышающих 5 м, когда глубина резкости уже практически не зависит от расстояния, критические значения экранных параллаксов будут прямо пропорциональны расстоянию между зрителем и экраном d_1 , а их угловые значения практически не будут зависеть от него.

Измерения критических значений экранных параллаксов

Известно, что в стереоскопическом изображении экранный параллакс p , расстояние между зрачками глаз зрителя (база) b , расстояние от зрителя до экрана d_1 , на котором представлено изображение, и расстояние до мнимого изображения объекта d_2 связаны соотношением

$$p = \frac{b(d_2 - d_1)}{d_2}, \quad (1)$$

откуда

$$d_2 = \frac{bd_1}{(b - p)}.$$

Из формулы следует, что глубина пространства в стереоскопическом изображении может быть увеличена путем увеличения расстояния, с которого проводится наблюдение, а также путем увеличения абсолютных значений положительного и отрицательного экранных параллаксов. Однако, как это следует из выдвинутой гипотезы и практического опыта, чрезмерное увеличение экранных параллаксов влечет за собой возникновение у зрителей ощущения дискомфорта и эффекта двоения изображения [1]. В связи с этим были проведены исследования

восприятия зрителями различных видов стереоскопических изображений при разных условиях наблюдения. С этой целью было выполнено три серии экспериментов [4].

Первая серия экспериментов

В первой серии экспериментов были использованы тестовые стереоскопические изображения отрезков прямых линий, толщиной в 1, 2, 4, 8 и 14 пикселов, расположенных в вертикальных плоскостях, перпендикулярных плоскости экрана 3D телевизора, на который выводилось изображение. Верхние части этих линий помещались в плоскости экрана, а нижние либо перед экраном, либо за ним в зависимости от используемого тестового изображения. Цель этой серии экспериментов заключалась в определении зависимости критического значения экранного параллакса от толщины линий и расстояния от наблюдателя до экрана d_1 . В процессе экспериментальных исследований зрителю, который смотрел на экран с заданного расстояния d_1 , предъявлялось одно из тестовых изображений. По специальной шкале, имевшейся на левой стороне тестового изображения и проградуированной в единицах, пропорциональных экранному параллаксу N , зритель определял место на отрезке прямой линии, начиная с которого исчезал стереоскопический эффект и возникал эффект двоения линии. Затем по найденному значению N вычислялось критическое значение экранного параллакса p_{cr} . В экспериментах приняли участие 11 человек. Количество выполненных измерений превышало 1500.

При выполнении экспериментов все испытуемые отмечали трудность фиксации значения N , при котором возникал эффект "двоения", поскольку он то появлялся, то исчезал. Это проявилось в том, что даже при усреднении результатов измерения критического значения экранного параллакса по всем испытуемым, получился значительный разброс данных. При этом явно выраженная зависимость критического значения экранного параллакса от толщины отрезков линий теста отсутствовала. В связи с этим наблюдаемый разброс данных следует отнести к неопределенности определения значения N , при котором возникал эффект "двоения", на которую ссылались испытуемые. На рис. 3 приведены графики зависимости абсолютных величин критических значений экранных параллаксов от расстояния наблюдения,

усредненные по всем испытуемым, принявшим участие в эксперименте, отдельно для тестовых изображений, в которых концы отрезков прямых линий были расположены перед экраном, и тестовых изображений, в которых концы отрезков прямых линий были расположены за экраном. На основании данных, приведенных на рис. 3, были рассчитаны зависимости абсолютных величин критических значений угловых размеров экранных параллаксов $|\alpha_{cr}|$ от расстояния наблюдения d_1 по формуле

$$|\alpha_{cr}| = \arctg(|p_{cr}|/d_1), \quad (2)$$

которые представлены на рис. 4.

Обращает на себя внимание то, что измеренные абсолютные величины критических значений угловых размеров экранных параллаксов в описанных экспериментах оказались существенно меньше диаметра фовеолы, величина

которой по различным литературным источникам заключается в пределах 35'-50'. Кроме того, при расстояниях наблюдения, превышающих 4 м, критические значения экранных параллаксов изменяются почти пропорционально расстоянию между зрителем и экраном d_1 , а их угловые значения практически от него не зависят.

Эти результаты интересны тем, что они получены в условиях, когда эффект "двоения" стереоскопического изображения наиболее заметен, поскольку тестовые изображения представляли собой отрезки прямых линий на равномерном фоне. Другими словами, полученные значения экранных параллаксов гарантируют отсутствие эффекта "двоения" для любого стереоскопического изображения при условии, если они не превышены.

Вторая серия экспериментов

Во второй серии экспериментов при измерениях критических значений экранных параллаксов использовались сюжетные стереоскопические изображения, существенной особенностью которых, в отличие от тестовых изображений с отрезками линий, был элемент неопределенности в положении световых границ, создаваемых изображениями реальных объектов на сложном неравномерном фоне. Цель экспериментов по-прежнему заключалась в определении зависимости критического значения экранного параллакса от расстояния наблюдения d_1 . Для этих исследований было разработано приложение, создававшее из исходного 2D изображения левый и правый компоненты стереопары путем его простого смещения влево и вправо на заданное количество пикселов. При наблюдении созданной таким образом стереопары зрителю видел по-прежнему исходное, плоское изображение, но смещенное по глубине. Приложение позволяло зрителю при наблюдении путем изменения положения движка полосы прокрутки изменять значение параллакса и тем самым изменять величину смещения по глубине наблюдаемого изображения. Как и раньше, в задачу зрителя входило определение значения параллакса, при котором возникает эффект "двоения" изображения. При выполнении измерений, как и в описанных выше экспериментах, зрители отмечали трудность четкого определения момента возникновения эффекта "двоения" изображения, вместе

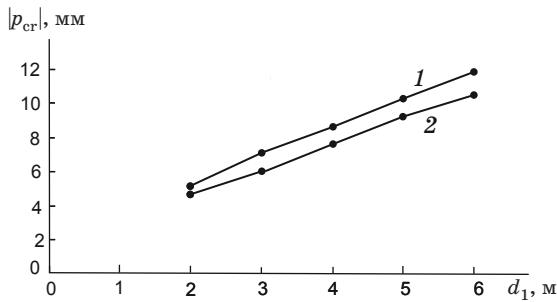


Рис. 3. Графики зависимостей абсолютных критических значений экранных параллаксов $|p_{cr}|$, усредненных по 7 наблюдателям и 5 значениям толщин линий на тестовых изображениях, от расстояния наблюдения d_1 . Кривая 1 – для случая отклонения нижней части тестовой линии от зрителя, кривая 2 – для случая отклонения нижней части тестовой линии в сторону зрителя.

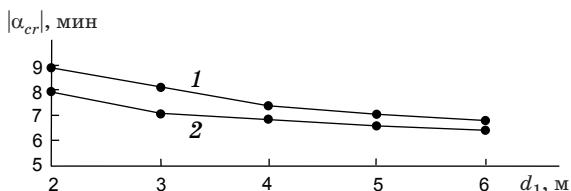


Рис. 4. Графики зависимости абсолютных величин критических значений угловых размеров экранных параллаксов $|\alpha_{cr}|$, усредненных по 7 наблюдателям и 5 значениям толщин линий на тестовых изображениях, от расстояния наблюдения d_1 . Кривая 1 соответствует случаю отклонения нижней части тестовой линии от зрителя, кривая 2 – случаю отклонения нижней части тестовой линии в сторону зрителя.

с тем эта граница была существенно выше, чем при экспериментах с отрезками линий. И положительные, и отрицательные угловые значения критических параллаксов, полученные при этих измерениях, во всем интервале дальностей наблюдения приближались к одному градусу, а в ряде случаев и превосходили его. Однако еще задолго до возникновения эффекта “двоения” изображения у зрителей появлялось ощущение дискомфорта. Зрители также отмечали, что даже после того как эффект “двоения” возникал, он присутствовал не постоянно, а то исчезал, то снова появлялся. Объяснить это можно лишь тем, что при наблюдении сюжетных изображений задача зрителя усложняется неопределенностью положения световых границ в его поле зрения. Отметим, что в работе [5] со ссылкой на [6] называется угловое значение экранного параллакса, при котором отсутствует эффект “двоения” изображения, равное $60' - 70'$. Однако мы полагаем, что при создании 3D фильмов следует ориентироваться на абсолютные величины критических значений угловых размеров экранных параллаксов не более $17'$, поскольку при их больших значениях у ряда зрителей уже возникает ощущение дискомфорта и, как следствие, быстрая утомляемость. В связи с этим уместно сослаться на статью [1], в которой рассматриваются проблемы, связанные с отрицательными артефактами, при просмотре 3D фильмов и, в частности, говорится, что “комфортным для кинотеатров считается среднее значение экранного параллакса порядка $0,5\%$ от ширины экрана”, что в пересчете в угловое значение для Санкт-Петербургского кинотеатра “Аврора” при просмотре из среднего ряда составляет $15'$.

Третья серия экспериментов

В третьей серии экспериментов измерялись максимальные угловые значения экранных параллаксов, применяемые в 3D фильмах. Для измерений были выбраны четыре 3D фильма: “Сталинград”, “Титаник”, “Хранитель времени” и “Шрек”, которые различались между собой как технологией изготовления, так и жанром. Фильмы “Сталинград” и “Хранитель времени” изначально были сняты посредством стереокамеры, версия 3D фильма “Титаник” была получена путем конвертации из 2D формата этого фильма в 3D формат, фильм “Шрек” – анимационный [7]. Из этих фильмов для по-

следующих измерений было отобрано 60 кадров. При измерениях в каждом кадре находилось одно положительное наибольшее значение экранного параллакса и одно наибольшее отрицательное значение экранного параллакса, которые записывались экспериментатором. Величины параллаксов в отобранных кадрах изменились посредством приложения, которое было специально разработано для этой цели. Измерения параллаксов заключались в совмещении световых границ левого и правого компонентов изображений путем перемещения движка полосы прокрутки. Измеренные значения параллаксов в пикселях записывались и в дальнейшем пересчитывались в их угловые значения. Поскольку угловые значения параллаксов зависят также от размера изображения и расстояния, с которого производится наблюдение, то нам необходимо было их взять для какого-либо типичного реально существующего кинотеатра. В качестве такого кинотеатра мы выбрали Санкт-Петербургский кинотеатр “Аврора”. Размер экрана в этом кинотеатре равен 14×7 метров, а расстояние наблюдения из среднего ряда – 6,45 метра. Анализ полученных результатов показал следующее:

- в этих фильмах в основном преобладали положительные параллаксы, составляющие $2/3$ от всех просмотренных;
- 68% положительных экранных параллаксов не превышали $50'$;
- 49% отрицательных экранных параллаксов были заключены в интервале от $-50'$ до $0'$.

Кроме того, среди измеренных значений наибольшее значение положительного параллакса составляло $105'$, а отрицательного – $-202'$.

Зависимость восприятия глубины от условий наблюдения стереоскопических изображений

Рассмотрим зависимость восприятия координаты глубины на стереоскопическом изображении от расстояния, с которого оно наблюдается зрителем, для чего обратимся к формуле (1), устанавливающей связь между экранным параллаксом p , расстоянием между зрачками глаз зрителя b , расстоянием от зрителя до экрана d_1 и расстоянием от зрителя до объекта d_2 . Поскольку в данном случае нас интересуют максимальная $d_{2\max}$ и минимальная $d_{2\min}$ глубины, которые могут быть воспроизведены на стереоскопическом изображении без его “двоения”

и ощущения дискомфорта, то в написанную формулу следует подставлять критические значения параллаксов для максимальной и минимальной глубин, соответственно p_{cr+} и p_{cr-} , т.е.

$$p_{cr+} = \frac{b(d_{2\max} - d_1)}{d_{2\max}}, \quad p_{cr-} = \frac{b(d_{2\min} - d_1)}{d_{2\min}}. \quad (2)$$

Абсолютные критические значения экранного параллакса p_{cr+} и p_{cr-} , как это видно на рис. 3, между собой мало различаются, поэтому с высокой степенью приближения в дальнейших расчётах можно заменить их средними абсолютными значениями для каждой дальности d_1 , учитывая при этом, что для объектов, мнимые изображения которых находятся в залывном пространстве, экранные параллаксы отрицательны

$$p_{cr+} = \overline{|p_{cr}|} \quad (3)$$

$$p_{cr-} = -\overline{|p_{cr}|}, \quad (4)$$

где

$$\overline{|p_{cr}|} = (|p_{cr+}| + |p_{cr-}|)/2. \quad (5)$$

При расчётах удобнее пользоваться не критическими значениями экранного параллакса, а критическими значениями угловых размеров экранного параллакса, абсолютные значения которых связаны соотношениями

$$\overline{|\alpha_{cr}|} = \arctg(\overline{|p_{cr}|}/d_1), \quad (6)$$

$$\overline{|p_{cr}|} = d_1 \tg(\overline{|\alpha_{cr}|}). \quad (7)$$

Решая уравнения (2) относительно максимальной и минимальной дальностей до экрана $d_{2\max}$ и $d_{2\min}$, с учетом формул (3)–(7) находим

$$d_{2\max} = \frac{d_1}{1 - \frac{d_1 \tg(\overline{|\alpha_{cr}|})}{b}}, \quad d_{2\min} = \frac{d_1}{1 + \frac{d_1 \tg(\overline{|\alpha_{cr}|})}{b}}. \quad (8)$$

Полученные формулы позволяют рассчитать граничные значения дальностей объектов от зрителя, при которых восприятие стереоскопического изображения происходит без двоения и ощущения дискомфорта. На рис. 5 представлен график, рассчитанный по формулам (8). При расчётах абсолютное критическое значение углового размера экранного параллакса было принято равным $\overline{|\alpha_{cr}|} = 17'$, а расстояние между зрачками – 65 мм. Рассмотрение графика приводит к следующим выводам:

– при увеличении расстояния от зрителя до экрана интервал дальностей, в котором не происходит двоения стереоскопического изображе-

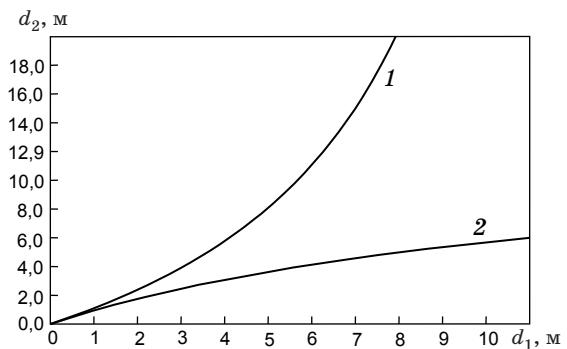


Рис. 5. График зависимости максимальной $d_{2\max}$ (кривая 1) и минимальной $d_{2\min}$ (кривая 2) глубин, на стереоскопическом изображении без его двоения и ощущения дискомфорта от расстояния наблюдения d_1 .

ния и не возникает ощущения дискомфорта, возрастает;

– возрастание этого интервала в сторону больших дальностей происходит быстрее, чем в сторону малых дальностей;

– при $d_1 = b/\tg(\overline{|\alpha_{cr}|})$ верхняя граница дальностей стремится к бесконечности, при этом нижняя граница дальностей становится равной $d_1/2$. Из графика следует, что уже при расстояниях от зрителя до экрана, превышающих 8 м, интервал дальностей, при которых отсутствует ощущение дискомфорта и двоения изображения, больше 15 м. Эти расстояния обычны для кинематографа, поэтому обеспечение хорошего стереоскопического эффекта в кино не является проблемой.

Иначе обстоит дело в 3D телевидении. При телевизионном просмотре программ расстояние наблюдения ограничено размерами помещения, в котором происходит просмотр, в результате этого возникает проблема обеспечения удовлетворительного стереоскопического эффекта. Так, принимая расстояние наблюдения равным $d_1 = 2$ м, при прочих равных условиях интервал дальностей, в котором отсутствует двоение изображения и ощущение дискомфорта, составляет всего 0,62 м. И даже при расстоянии наблюдения в 3 м этот интервал не превышает 1,44 м. Вследствие этого сюжет, предназначенный для показа по телевидению, должен быть снят таким образом, чтобы все объекты, составляющие сцену, были бы размещены внутри этого интервала дальностей. По сути, рассмотренная проблема – это проблема просмотра стереоскопических изображений в небольших помещениях, где расстояние до экрана ограничено несколькими метрами. Это вносит существен-

ное ограничение на качество передачи глубины пространства при просмотрах изображений на экранах телевизоров и мониторов.

Однако этим проблемы просмотра 3D телевизионных передач не исчерпываются. Поскольку наша зрительная система получает информацию о дальности до наблюдаемых объектов от ряда зрительных механизмов [7], то для реалистичного воспроизведения сцен необходимо, чтобы при воспроизведении изображений отсутствовали бы конфликты между данными о дальности, получаемыми зрительной системой от этих механизмов. Так, например, для того чтобы зрительный механизм, определяющий расстояние до наблюдаемого объекта, основываясь на его угловом размере, передавал бы в зрительную кору ту же информацию о дальности, что и механизм, использующий линейный параллакс, необходимо, чтобы размер изображения на экране телевизора соответствовал бы истинному размеру объекта, находящегося на расстоянии его истинного положения при съёмке, в нашем примере – в интервале приведённых выше значений. Если это условие не соблюдается, например, изображение объекта воспроизводится на экране в уменьшенном виде, то возникает эффект миниатюризации, зритель видит кукольную сцену, и наоборот, если изображение воспроизводится на экране с большими размерами, имеет место обратный эффект, объекты будут казаться больших размеров, чем они на самом деле.

Эта проблема может быть решена путем использования специализированных стереоскопов для наблюдения неподвижных изображений и 3D фильмов. В качестве экрана, на который выводятся компоненты стереоскопического изображения, вполне можно использовать обычные смартфоны. Применяя подходящую оптику, изображения, выведенные на экран смартфона, не трудно увеличивать и отодвигать практически на любое расстояние, создавая у зрителя ощущение просмотра фильма в зале кинотеатра. В настоящее время в интернете широко рекламируются устройства, по назначению близкие описываемому. Это так называемые виртуальные очки и шлемы [8].

Заключение

Основываясь на предложенной нами гипотезе, был разработан способ расчёта значений экранных параллаксов, обеспечивающий отсутствие

ощущения дискомфорта и двоения изображений при просмотре 3D кинофильмов, которые возникают вследствие неправильного выбора параметров съёмки. Основываясь на полученных результатах, было показано, что в 3D кинематографе не возникают ограничения на воспроизведение достаточно больших интервалов глубины только благодаря тому, что наблюдение стереоскопического изображения происходит со сравнительно больших расстояний (6–10 и более метров), в то время как в 3D телевидении вследствие того, что наблюдение стереоскопических изображений осуществляется с небольших расстояний (часто с 2–3 метров), воспроизведение больших интервалов глубины невозможно. Как известно, эти выводы полностью подтверждаются на практике. Основываясь на этих выводах, можно предложить осуществлять просмотр телевизионных передач не на экранах 3D телевизоров, а индивидуально на экранах сравнительно недорогих приборов, аналогичных тем, которые в настоящее время широко рекламируются, так называемых, 3D очков виртуальной реальности. Применение таких приборов для индивидуального просмотра 3D телевизионных передач позволит также решить еще одну проблему – проблему дискомфорта, возникающего у некоторых людей при просмотре 3D фильмов, путем индивидуальной настройки параметров демонстрируемого изображения.

Завершая изложенное, отметим, что технологии получения и демонстрации стереоскопических изображений помимо традиционного применения в кино, телевидении и всевозможных аттракционах могут не менее эффективно быть использованы в целях релаксации людей, находящихся или работающих в замкнутых пространствах, например, при МРТ обследовании, у экипажей космических кораблей, подводных лодок и т.п., где клаустрофobia является одним из факторов, ограничивающих допустимое время пребывания или работы в данных условиях [4, 9]. В отличие от традиционного метода создания виртуальных миров, в котором применяются 3D изображения, в ряде случаев с определенными ограничениями возможностей и, в частности, в рассматриваемом случае, можно использовать стереоскопические изображения. Достоинством этого метода по сравнению с традиционным является высокое качество изображения представляемой сцены с возможностью ее кругового обзора и радиальных перемещений при сравнительно небольших вычислительных затратах.

* * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Почему от 3D болит голова. Ч. 4. Параллакс <https://geektimes.ru/post/248970/> (дата обращения: 10.03.2016).
2. Физиология сенсорных систем. Ч. 1. Физиология зрения / Под ред. Гершуни Г.В. Л.: Наука, 1971. 416 с.
3. Ярбус А.Л. Роль движения глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965. 166 с.
4. Красильников Н.Н., Красильникова О.И. Исследование критического значения экранного параллакса // Информационно-управляющие системы. 2016. № 3. С. 19–25.
5. Федоров С. Природа объема // Журнал «625». 2010. № 3. С. 66–71.
6. Шмаков П.В. Стереотелевидение (черно-белое и цветное) / Под редакцией Шмакова П.В., Колина К.Т., Джаконии В.Е. М.: Связь, 1968. 207 с.
7. Красильников Н.Н. Механизмы и погрешности восприятия 3D пространства зрительной системой // Информационно-управляющие системы. 2014. № 6 (73). С. 13–19.
8. Шлемы и очки виртуальной реальности для ПК <http://oculus-rift.ru/shlemy-i-ochki-virtualnoj-realnosti/> (дата обращения: 01.03.2016).
9. Боязнь замкнутого пространства (клаустрофобия) <http://www.neuroplus.ru/bolezni/fobii/boyazn-zamknutogo-prostranstva-klaustrofobiya.html> (дата обращения: 27.03.2016).