

# Исследование стереоскопических характеристик шлемов виртуальной реальности

А.И. Винокур<sup>1,А</sup>, Н.В. Кондратьев<sup>2,В</sup>, Ю.Н. Овечкис<sup>3,А</sup>

<sup>А</sup> Московский политехнический университет

<sup>В</sup> Филиал «НИКФИ» АО ТП «Киностудия им. М. Горького»

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-6914-2520, [alex.vinokour@gmail.com](mailto:alex.vinokour@gmail.com)

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-6717-8661, [kondr1216@mail.ru](mailto:kondr1216@mail.ru)

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-2325-0857, [ovechkis@yandex.ru](mailto:ovechkis@yandex.ru)

## Аннотация

Во всем мире большую популярность приобрели индивидуальные стереоскопические устройства виртуальной реальности. Их преимущества в сравнении с традиционными средствами представления стереоизображений заключаются в обеспечении большого угла обзора, учету расположения и перемещения наблюдателя, привязке изображения к направлению его взгляда. Для получения высококачественной и комфортной системы визуализации необходимо достигнуть определенного соотношения технических параметров. В данной работе рассмотрены ограничения глубины объемного изображения, воспроизводимого в шлемах виртуальной и дополненной реальности, обусловленные стереоскопическим характером его формирования. Приводятся методики и результаты оценочных расчетов граничных расстояний для различных условий демонстрации объемного стереоскопического изображения. Проведены экспериментальные исследования габаритных параметров оптических схем семи различных типов шлемов виртуальной реальности. Показано, что большинство из них, особенно наиболее доступные как более дешевые и часто используемые в социальной среде, не пригодны для демонстрации глубоких сцен окружающей визуальной обстановки. Даны рекомендации по их модернизации.

**Ключевые слова:** стереоскопия, виртуальная реальность, аккомодация, конвергенция, 3D, шлем виртуальной реальности.

## 1. Введение

Наметившийся в начале последнего десятилетия существенно возросший интерес вначале к стереоскопическому (или как его стали называть 3D) кинематографу, а потом и телевидению со стереоскопическим эффектом, в настоящее время значительно снизился [1, 2]. Киноиндустрия за малым исключением практически отказалась от создания стерео продукции, телевизионные приемники стали изготавливаться в основном без опции 3D. Одной из причин такого спада, если не главной, то, по крайней мере, весьма существенной, является часто появляющийся у зрителей при просмотре стереоскопического видеоряда дискомфорт – головные боли, тошнота, резь в глазах, недомогания и пр. Все это являлось следствием либо недостаточно грамотного учета особенностей съемки и демонстрации стереоскопического изображения, либо их игнорирования, либо имеющимися место ошибками при компоновке стерео ряда [3].

Несмотря на сказанное выше, появившиеся несколько лет назад устройства виртуальной реальности в различной реализации – шлемы, очки и др., пользуются достаточно большим спросом как в социальной сфере - аттракционы, выставки, музеи и пр., так и в научно-технической области – тренажеры, обучающие системы, научная визуализация. Такой, пока еще не прекращающийся интерес вызван появлением новых

функциональных возможностей данного вида стереоскопических устройств – большой угол обзора, вплоть до 360 град., привязка объемного изображения к направлению взора наблюдателя, а в ряде реализаций и к его расположению и перемещению в пространстве, возможность взаимодействия с другими виртуальными или реальными объектами. Понятно, что требования к формируемому изображению в таких устройствах гораздо более жесткие, чем в стереоскопическом кинематографе или телевидении. Система адаптивная и помимо необходимости соблюдения требований, накладываемых стереоскопическим характером видеоряда, появляются также требования к скорости отработки обратной связи, т.е. соответствия картинки положению наблюдателя и направлению его взора в каждый момент времени.

Таким образом, факторы, приводящие к появлению возможного дискомфорта, становятся более существенными. Следовательно, чтобы устройства виртуальной и дополненной реальности не постигла участь стереоскопического кинематографа и телевидения соблюдение отмеченных выше требований должно неукоснительно соблюдаться. Данная работа посвящена рассмотрению и формулировке требований к стереоскопическим характеристикам формируемого объемного изображения в устройствах виртуальной реальности различного назначения. Кроме этого, в работе проведено экспериментальное исследование стереоскопических возможностей ряда образцов шлемов виртуальной реальности, и даны рекомендации по их модернизации.

## 2. Анализ стереоскопических свойств шлемов виртуальной реальности

Общий подход к оценке влияния стереоскопического характера формирования объемного изображения в шлемах виртуальной реальности на глубину воспроизводимого пространства рассмотрен в работе [4]. Анализируется оптическая схема шлема виртуальной реальности (рис. 1), которая по своему построению и функциональным элементам повторяет простейший стереоскоп [5]. Два ракурса отображаемой визуальной обстановки формируются на экранах  $\mathcal{E}_1$  и  $\mathcal{E}_2$ , расположенных на некотором расстоянии от линз  $L_1$  и  $L_2$ , через которые рассматривается воспринимаемое объемным стереоскопическое изображение.

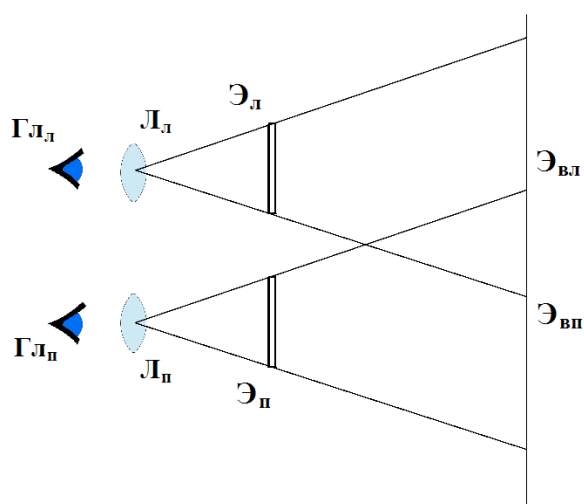


Рис. 1. Принципиальная оптическая схема шлема виртуальной реальности

Расстояние  $L$  от линз (фактически от глаз  $G_{л}$  и  $G_{п}$ ) до виртуальных экранов  $\mathcal{E}_{вл}$  и  $\mathcal{E}_{вп}$ , являющихся изображением экранов  $\mathcal{E}_л$  и  $\mathcal{E}_п$ , в линзах  $L_л$  и  $L_п$  соответственно, определяется их фокусным расстоянием  $f$ , расстоянием  $l$  от линз до экранов и вычисляется по известной формуле линзы [6]:

$$1/L = 1/l - 1/f \quad (1)$$

Именно это расстояние  $L$  до виртуального экрана, на котором наблюдаются плоские изображения правого и левого ракурсов визуальной обстановки, является определяющим для оценки возможной глубины стереоскопического объемного изображения, воспринимаемого спокойно и без различных болезненных ощущений.

Помимо различных технологических факторов, приводящих к возможному дискомфорту при просмотре стереоскопических изображений, – наличие вертикального параллакса, избыточных положительных горизонтальных параллаксов, перепутанные ракурсы и пр. [5, 7, 8], которые устранимы на этапе создания видеоряда, основную негативную роль играет так называемый разрыв между аккомодацией и конвергенцией [5, 7]. Этот разрыв обусловлен тем, что аккомодация глаз, т.е. фокусировка, осуществляется всегда на плоскость экрана, в данном случае виртуального, а сведение оптических осей глаз – конвергенция, производится на рассматриваемый элемент объемного изображения, расположенный в общем случае вне экрана. Вычисляется эта характеристика  $\Delta$  как абсолютная величина разности углов сведения оптических глазных осей при наблюдении элемента изображения, расположенного в плоскости экрана  $\alpha_{ак}$  (угол аккомодации) и вне его –  $\alpha_{кон}$  (угол конвергенции):

$$\Delta = / \alpha_{ак} - \alpha_{кон} / \quad (2)$$

Ясно, что чем больше глубина воспринимаемого стереоскопического пространства, тем больше эта величина и возрастает опасность появления болезненных ощущений при просмотре. Известны ограничения на величину разрыва между аккомодацией и конвергенцией для комфортного просмотра. Для различных применений стереоскопических воспроизводящих систем и требований к комфортности восприятия диапазон изменений этой величины составляет от  $16 - 32'$  [9, 10] до  $70 - 110'$  [5]. Первый диапазон более жесткий обеспечивает практически полное отсутствие дискомфорта при просмотре. Именно это ограничение надо учитывать при разработке устройств для детей, создании учебных стереоскопических пособий и т.п. Второй диапазон менее жесткий – возможны кратковременные небольшие дискомфортные ощущения, допустимые в различных аттракционах, шоу и пр., именно он принят в стереоскопическом кинематографе.

Расстояния до ближней и дальней границ области, в которой стереоскопическое изображение воспринимается достаточно комфортно согласно [5] определяются как пределы глубины резкости глаз наблюдателя, сфокусированных на плоскость экрана, в нашем случае виртуального, на котором формируются ракурсы. При этом угловое разрешение глаза  $\delta$ , выбранное для определения этой резкости, характеризует приведенные выше диапазоны разрыва аккомодации и конвергенции. В соответствии с [4, 10] для нахождения расстояний до границ наблюдаемого комфортно стереоскопического изображения используются выражения (3), а связь принятого углового разрешения глаза с величиной разрыва между аккомодацией и конвергенцией определяет выражение (4):

$$\begin{aligned} L_1 &= \frac{Ld}{d + L\delta}, \\ L_2 &= \frac{Ld}{d - L\delta} && \text{при } d \geq L\delta, \\ L_2 &= \infty, && \text{при } d \leq L\delta, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\Delta \approx B\delta/d \approx 16 \delta, \quad (4)$$

где  $L_{1,2}$  – расстояния до ближней и дальней соответственно границы области комфортного восприятия стереоизображения,  $B$  – глазной базис (65 мм),  $d$  – диаметр глазного зрачка (4 мм).

Нетрудно видеть, что глубина стереоскопического пространства, воспринимаемого без напряжения, существенным образом зависит от величины  $L$  – расстояния до виртуального экрана и  $\delta$  – выбранной величины углового разрешения, определяющего допустимый разрыв между аккомодацией и конвергенцией. Отсюда однозначно следует,

что расчет оптической схемы шлема (очков) виртуальной реальности следует проводить с учетом его назначения, т.е. требуемой глубины пространства и расстояния до него, и контингента пользователей.

На рис. 2 приведены графики зависимостей  $L_1$  – верхние кривые и  $L_2$  – нижние кривые от величины расстояния  $L$  для двух характерных значений углового разрешения  $\delta$ . Значение  $\delta = 2'$ , близкое предельному разрешению глаза -  $1'$  [11], определяет минимальную величину  $\Delta = 32'$ , достаточную для того, чтобы нежелательные болезненные ощущения при просмотре всей глубины стереоскопического пространства практически отсутствовали. Как отмечалось выше это условие обязательно там, где критично полное отсутствие возможных болезненных ощущений - применение в детском и школьном возрасте, в устройствах обучения и пр. Значение  $\delta = 6'$ , соответствующее величине  $\Delta = 96'$ , может использоваться с менее строгими ограничениями, аналогичным принятым при создании видеоряда в стереоскопическом кинематографе.

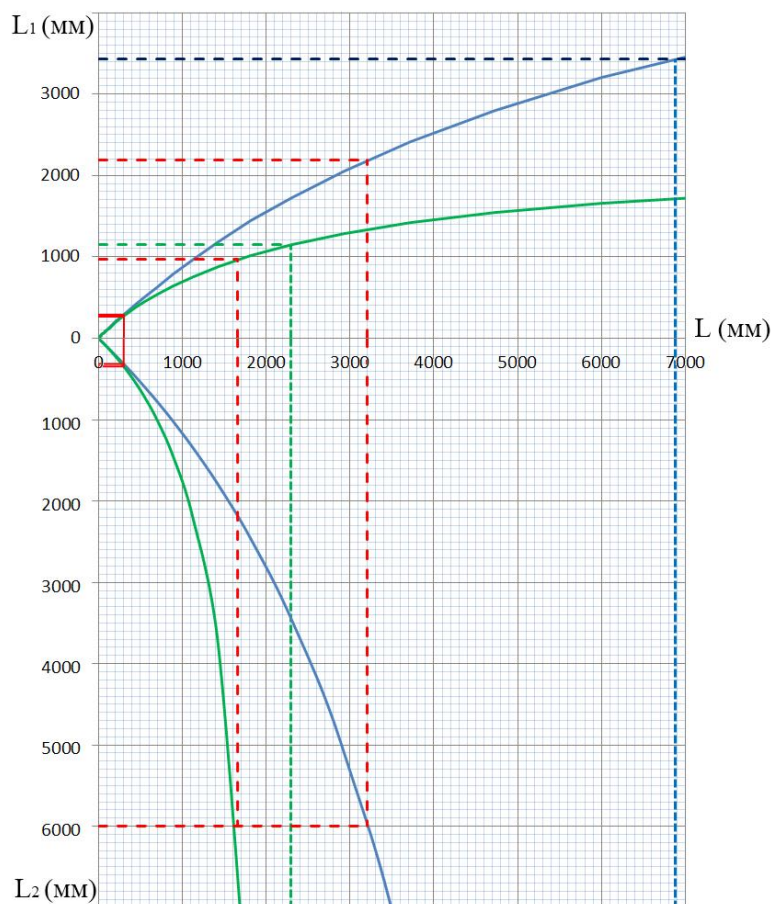


Рис. 2. Графики зависимостей  $L_1$  – верхние кривые и  $L_2$  – нижние кривые от величины расстояния  $L$  до виртуального экрана. Синим цветом отображены зависимости для  $\delta = 2'$ , зеленым -  $\delta = 6'$ .

Вертикальные асимптоты к нижним частям графика изображены пунктиром синего и зеленого цвета соответственно. Их пересечение с осью  $L$  определяет минимальное расстояние до виртуального экрана, при котором расстояние до дальней границы области комфорта уходит в бесконечность. Для выбранных значений величины  $\delta$ , равных  $2'$  и  $6'$  имеем  $L_2 = 6,9$  м и  $L_2 = 2,3$  м соответственно. При этом расстояния  $L_1$  до ближней границы зоны комфорта согласно (3) вдвое меньше и равны  $L_1 = 3,45$  м и  $L_1 = 1,15$  м соответственно. Приведенные параметры являются оптимальными для шлемов виртуальной реальности, предназначенных для отображения объектов визуальной обстановки, расположенных на дальних расстояниях, вплоть до бесконечности, например,

для авиационных тренажеров. Увеличение расстояния до виртуального экрана приведет к увеличению расстояния до ближней границы зоны комфорта.

При небольших расстояниях до виртуального экрана, как это хорошо видно (рис. 2), глубина комфортно воспринимаемого стереоскопического пространства чрезвычайно мала и достаточно быстро растет с увеличением расстояния до него. Приведенные кривые позволяют сформулировать начальные условия к расчету габаритных параметров оптической схемы шлема виртуальной реальности. Так если назначение шлема – демонстрация удаленных объектов с максимальным расстоянием до них, например, 6 м, то через эту точку на нижней оси ординат (рис. 2) следует провести горизонтальную прямую до пересечения с рассматриваемой кривой и через полученную точку пересечения провести вертикальную прямую. Точка пересечения с осью абсцисс обозначит необходимое расстояние до виртуального экрана. Расстояние между линзами шлема и экранами дисплеев (рис. 1) рассчитывается по формуле (1).

Пересечение с верхней кривой определяет расстояние до ближней границы области пространства, воспринимаемого комфортно. В нашем случае для  $\delta = 2'$  и  $\delta = 6'$  оптимальные расстояния от линз до виртуального экрана составят 3,2 м и 1,7 м соответственно, а расстояния до ближней границы стереоскопического изображения – 2,2 м и 1,0 м. Геометрические построения, соответствующие приведенному процессу, отображены на рис 2 пунктирными прямыми красного цвета.

Аналогичные построения следует провести в обратном порядке, если критична ближняя граница области стереоскопического изображения наблюдаемого без напряжения. Понятно, что достичь желаемых результатов для ближней и дальней границы этой области одновременно не всегда возможно. В таких случаях приходится искать компромиссное решение и либо ограничивать ее размеры, либо допускать некоторые нарушения заложенных ограничений.

Отметим также, что приведенные рассуждения дают оценочные результаты и требуется дополнительный анализ, т.к. имеются вторичные факторы возникновения дискомфорта, связанные с особенностями самого видеоряда, его динамики, плавности перемещений объектов по глубине, их взаимоположения в пространстве, длительности демонстрации и пр. [4, 9], что может внести дополнительные ограничения на глубину стереоскопического изображения.

### **3. Экспериментальное исследование оптических параметров шлемов виртуальной реальности.**

В настоящее время в продаже находится большое разнообразие шлемов виртуальной реальности, как простых и дешевых (от сотен до нескольких тысяч рублей), предназначенных в основном для работы со смартфонами, так и более дорогих и сложных, обладающих некоторыми подстройками и со встроенными экранами стоимостью от десятков до нескольких сотен тысяч рублей. Однако, доступная документация на эти приборы в большинстве своем не содержит сведения о габаритных характеристиках оптических схем и, в частности о дальности расположения виртуального экрана. Учитывая то, что данный параметр, как мы видели, играет существенную роль в появлении нежелательных ощущений при просмотре стереоскопического видеоряда, было проведено экспериментальное исследование оптических схем ряда шлемов виртуальной реальности, как дешевых, так и более дорогих. При этом большее внимание уделялось именно дешевым образцам, как наиболее доступным и соответственно более массово используемым.

Для экспериментального измерения расстояния от линз до места расположения виртуального экрана была собрана установка, схематически изображенная на рис. 3. На оптической оси одной из линз (в данном случае для левого глаза)  $L_1$  шлема Ш на некотором расстоянии от нее располагалась эталонная линза  $L_2$  с известным фокусным расстоянием  $F$ , после которой устанавливался просветный рассеивающий экран Э<sub>р</sub>.

Измерительная линза и экран имели возможность перемещения вдоль оптической оси. Изображение штрихового контрастного тест-объекта формировалось с помощью персонального компьютера ПК и подавалось на соответствующий экран дисплея Дл. Для шлемов, в которых была предусмотрена возможность установки смартфона, аналогичное изображение выводилось на его экран.

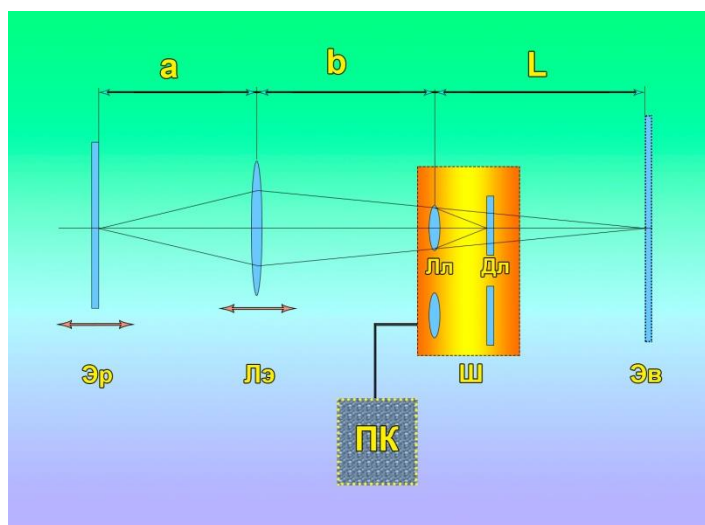


Рис. 3. Принципиальная схема установки для измерения расстояния до виртуального экрана.

Эталонная линза  $L_3$  последовательно перемещалась вдоль оптической оси, занимая несколько фиксированных дискретных положений относительно шлема. Для каждого из них экран  $\mathcal{E}_p$  устанавливался по месту наилучшей фокусировки изображения тестового объекта, определяемой визуально с помощью лупы. Далее измерялись расстояния между эталонной линзой и экраном ( $a$ ) и одной из линз шлема ( $b$ ). Расстояние  $L$  от линзы шлема до места расположения виртуального экрана  $\mathcal{E}_v$  определялось по формуле линзы с последующим усреднением:

$$L_i = aF/(a - F) - b \quad (5)$$

$$L = 1/n \sum_{i=1}^n L_i$$

где  $n = 5$  – число проводимых измерений.

Для измерений были выбраны семь образцов шлемов виртуальной реальности. Три шлема из дешевого сегмента, функционирующие совместно со смартфоном, это Ritech Riem3, Qilive Max и VR Shinecon. Последние два образца имели возможность изменения расстояния до дисплея, поэтому для них производилось по два комплекса измерений – для ближнего расположения виртуального экрана и дальнего. Два шлема - относительно дорогие, это Oculus Rift DK-2 и Display Systems i-glasses 3D. Исследовались также экспериментальный образец шлема для отображения внешней визуальной обстановки ЭШВО1 и шлем (очки) FXT Viper 5.8 GHz, предназначенный для работы в качестве видео регистратора совместно с радиоуправляемым квадрокоптером. Отметим, что в доступной документации для всех указанных устройств, кроме одного - Display Systems i-glasses 3D, сведения о месте расположения виртуального экрана отсутствуют.

Результаты проведенных измерений отображены в Таблице 1. Нетрудно видеть, что за исключением двух образцов, четвертого и пятого в таблице, все шлемы сконструированы таким образом, что расстояние от линз (глаз наблюдателя) до виртуального экрана, на котором формируются изображения двух ракурсов, не превышает 370 мм. При таких малых значениях величины расстояния  $L$  глубина комфортно воспринимаемого пространства согласно формулам (3) и графикам на рис. 2 составит всего 140 мм для менее строгого критерия, и 50 мм для жесткого ограничения.

Таблица 1

№ п/п	Название шлема ВР	Расстояние до виртуального экрана $L$ (мм)	Примечания
1	Ritech Riem3	360	
2	Qilive Max	360	Имеется возможность настройки
		210	
3	VR Shinecon	370	Имеется возможность настройки
		170	
4	Oculus Rift DK-2	1600	
5	Display Systems i-glasses 3D	4000	Данные из технической документации
6	ЭШВО1	300	Экспериментальный образец
7	FXT Viper 5.8 GHz	300	Очки для управления квадрокоптером

При этом в описаниях и технических характеристиках продаваемых шлемов информация о необходимости ограничения глубины воспроизводимого стереоскопического изображения виртуальной реальности нигде не фигурирует, в то время как именно глубокие сцены, существенно выходящие за отмеченные пределы, благодаря эффективности воздействия на наблюдателей обычно демонстрируются при домашнем использовании и в небольших аттракционах. Именно шлемы, аналогичные первым трем в Таблице 1, благодаря своей простоте использования – возможности работы со смартфоном, и доступной цене, пользуются особой популярностью у молодежи и подростков, зачастую не обращающих внимания на некоторые признаки дискомфорта, которые впоследствии могут привести к нежелательным осложнениям. Поэтому одна из важнейших целей данной статьи является обратить особое внимание на особенности формирования стереоскопического объемного изображения и связанную с ними опасность возникновения болезненных ощущений при его просмотре и последующих осложнений.

Оптические параметры оставшихся двух шлемов позволяют наблюдать безболезненно стереоскопическое изображение в достаточно больших пределах по глубине, соответствующих кривым, приведенным на рис. 2. Что касается шлема под пятым номером в таблице, то в нем наблюдаемое изображение плоское без стереоскопического эффекта и формируется оно моноэкраном с помощью асферического зеркала на небольшом расстоянии (300 мм) от глаз наблюдателя. Соответственно разрыв между аккомодацией и конвергенцией в нем отсутствует. Однако, учитывая его назначение – управление квадрокоптером и считывание видеоинформации с него, целесообразнее было бы отнести это изображение на бесконечность и сделать процесс управления и просмотра более естественным и спокойным, как это осуществляется в авиационных тренажерах.

Имея в виду рассмотренные выше проблемы, связанные с особенностями демонстрации стереоскопических изображений, при приобретении шлемов виртуальной реальности следует интересоваться местом расположения виртуального экрана. При отсутствии такой информации нужно провести измерения аналогичные приведенным. При необходимости и конструктивной возможности для недорогих шлемов с использованием смартфонов в качестве источника изображения можно провести их модернизацию. Для этого следует увеличить расстояние между линзами  $L_1$ ,  $L_2$  и экраном смартфона  $D$  (рис. 1), отодвинув последний на небольшое расстояние, определяемое экспериментально с использованием приведенной выше методики и схемы измерения (рис. 4). Изображение тестового изображения должно сформироваться на экране, располо-

женном вблизи фокуса измерительной линзы  $L_n$ . Угол поля зрения при этом несколько уменьшится, поэтому следует найти компромисс между качеством стереоскопического изображения и степенью его реалистичности. Ясно, что для такой модернизации шлема потребуется его доработка, связанная с реконструкцией задней стенки устройства.

## 4. Заключение.

В результате проведенного анализа и экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы и рекомендации.

1. Расстояние от глаз наблюдателя до места формирования виртуального экрана в шлеме виртуальной реальности играет решающую роль в определении глубины комфортно воспринимаемого стереоскопического пространства и расстояния до него. Даны аналитические и графические данные для расчета этих величин, приведены примеры их использования.
2. Проведенные экспериментальные исследования ряда реальных и доступных по стоимости шлемов виртуальной реальности показали, что для большинства из них демонстрация глубоких объемных сцен может вызвать болезненные ощущения, недопустимые особенно для пользователей детского и школьного возраста.
3. Даны рекомендации по модернизации шлемов виртуальной реальности для улучшения их отображающих свойств.

## Литература

1. Augmented Reality and Virtual Reality Market by Offering (Hardware & Software), Device Type (HMD, HUD, Handheld Device, Gesture Tracking), Application (Enterprise, Consumer, Commercial, Healthcare, Automotive), and Geography -Global Forecast to 2023 (2018)//Markets and Markets. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-folder/virtual-and-augmented-reality/report.pdf>.
2. Leo H. Bräutigam: eBook, *3D-Fotografie - 3D-Video*, Civitas Imperii Verlag Esslingen, 2014, ISBN 978-3-939300-28-1
3. Н.Н. Красильников Влияние расстояния наблюдения на глубину пространства, воспроизводимую стереоскопическим изображением Оптический журнал // издательство: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Санкт-Петербург) issn: 1023-5086
4. Ю.Н. Овечкис, Д.И. Попов, А.И. Романова. Анализ влияния разрыва между аккомодацией и конвергенцией в шлемах виртуальной реальности на комфортность восприятия // Мир Техники Кино. – 2016. - №4 – С. 3 – 6
5. Н.А. Валюс Стерео фотография. Стереokino. Стереотелевидение // М.: Искусство. – 1986. – С. 262.
6. Г.С. Ландсберг. Оптика //М.: Наука.- 1976. – С. 928.
7. С.Н. Рожков, Н.А. Овсянникова. Стереоскопия в кино-, фото-, видеотехнике: терминологический словарь// М. Парадиз. – 2003. – С. 135
8. В.А. Людвиченко, С.В. Лаврушкин, В.А. Янушковский, Д.С. Ватолин Обнаружение временного сдвига между ракурсами и перепутанного порядка ракурсов в стереофильмах.//Мир техники кино. – 2015. - № 35. – С 10-13 .
9. Н. Lüscher Stereoskopische Tiefenzone und Tiefenscharfenzone des Auges // FotoKino Technik. 1947. № 6.
10. В.А. Елхов, Н.В. Кондратьев, Ю.Н. Овечкис, Л.В. Паутова, Особенности формирования объемного изображения в цифровом стереоскопическом кинематографе // Мир техники кино. – 2011. – №20. – С. 4-8.
11. В.А. Панов, М.Я. Кругер, В.В. Кулагин и др. Справочник конструктора оптико-механических приборов. Под общ. ред. В. А. Панова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1980. – 742 с.



12. А.С. Мелкумов [Факторы, влияющие на дискомфорт и усталость при просмотре стереофильмов](#) // Мир техники кино. – 2016. - №10. – С. 31-33

# The research of the stereoscopic characteristics of virtual reality helmets

A.I. Vinokur<sup>1,A</sup>, N.V. Kondratiev<sup>2,B</sup>, Yu.N. Ovechkis<sup>3,A</sup>

<sup>A</sup> Moscow Polytechnic University

<sup>B</sup> Branch office "NIKFI" JSC TP "Film Studio. M. Gorky»

<sup>1</sup> ORCID: 0000-0002-6914-2520, [alex.vinokour@gmail.com](mailto:alex.vinokour@gmail.com)

<sup>2</sup> ORCID: 0000-0001-6717-8661, [kondr1216@mail.ru](mailto:kondr1216@mail.ru)

<sup>3</sup> ORCID: 0000-0003-2325-0857, [ovechkis@yandex.ru](mailto:ovechkis@yandex.ru)

## **Abstract**

Individual stereoscopic virtual reality devices have become very popular all over the world. Their advantages in comparison with traditional means of presenting stereo images are to provide a large viewing angle, taking into account the location and movement of the observer, binding the image to the direction of his gaze. To obtain a high-quality and comfortable visualization system, it is necessary to achieve a certain ratio of technical parameters. In this paper, we consider the limitations of the depth of a three-dimensional image reproduced in helmets of virtual and augmented reality, due to the stereoscopic nature of its formation. Methods and results of the estimated calculations of the boundary distances for different conditions for the demonstration of three-dimensional stereoscopic images are given. Experimental studies of the overall parameters of optical circuits of seven different types of virtual reality helmets have been carried out. It is shown that most of them, especially the most accessible as cheaper and often used in a social environment, are not suitable for demonstrating deep scenes of the surrounding visual environment. Recommendations for their modernization are given.

**Keywords:** stereoscopy, virtual reality, accommodation, convergence, 3D, virtual reality helmet.

## **References**

1. Augmented Reality and Virtual Reality Market by Offering (Hardware & Software), Device Type (HMD, HUD, Handheld Device, Gesture Tracking), Application (Enterprise, Consumer, Commercial, Healthcare, Automotive), and Geography -Global Forecast to 2023 (2018)//Markets and Markets. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-folder/virtual-and-augmented-reality/report.pdf>.
2. Leo H. Bräutigam: eBook, 3D-Fotografie - 3D-Video, Civitas Imperii Verlag Esslingen, 2014, ISBN 978-3-939300-28-1
3. N.N Krasilnikov. Vliyanie rasstoyaniya nabliudeniya na glubinu prostranstva, vosproizvodimuyu stereoskopicheskim izobrazheniem. Opticheskii gurnal// Sankt-Peterburgskii natsionalnii issledovatel'skii universitet informatsionnikh tehnologii, mehaniki i optiki. (Sankt-Peterburg), issn: 1023-5086 [in Russian].
4. Yu.N. Ovechkis, D.I. Popov, A.I. Romanova. Analiz vliyaniya razriva meghdu akkomodatsiei I konvergentsiei v shlemah virtualinoi realnosti na komphortnosti vospriiatia//Mir Tehniki Kino.-2016.-№4-S.3 – 6 [in Russian].
5. N.A. Valius Stero Photographiya Stereokino Stereotelevideniye // M.: Iskusstvo.- 1986.- .262 s. [in Russian].
6. G.S. Landsberg Optica // M. Nauka 1976 928 s. [in Russian]

7. S.N. Rogkov, N.A. Ovsianikova. Stereoskopiya v kino-, photo-, videotekhnike: terminologicheskii slovari// M. Paradiz/- 2003.- 135 s. [in Russian].
8. V.A. Liudvichenko, S.V. Lavrushkin, V.A. Ianushkovskii, D.S. Vatolin. Ovnarugenie vremennogo sdviga i pereputannogo poriadka rakursov d stereofilmah.// Mir Tehniki Kino .- 2015.- №35 - S.10 – 13 [in Russian].
9. H. Lüscher Stereoskopische Tiefenzone und Tiefenscharfenzone des Auges // FotoKino Technik. 1947. № 6.
10. V.A. Elkhov, N.V. Kondratiev, Yu.N. Ovechkis, L.V. Pautova. Osobennosti formirovaniia obiyomnogo izobrageniya v tsifrovom stereoskopicheskom kinematographe// Mir Tehniki Kino.-2011.- №20 - S.4 – 8 [in Russian].
11. V.A. Panov, M.Ya. Kruger, V.V. Kulagin i dr. Spravochnik konstruktora optikomehanicheskikh priborov. Pod obtch. red. V.A. Panova. – 3-e izd., pererab. i dop. – L.: Mashinostroeniie, 1980. – 742 s. [in Russian].
12. A.C. Melkumov. Faktori, vliiyayutchie na discomfort i ustalosti pri prosmotre stereophil-mov// Mir Tehniki Kino.- 2016.- №10 - S.31 –33 [in Russian].