

## АНАЛИЗ РАЗЛИЧИЙ В ВОСПРИЯТИИ ОСЕВОЙ СКОРОСТИ ОБЪЕКТОВ И ИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Зайцева Е.Г.<sup>1</sup>, Никитин В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>НП ЧУП «АДАНИ», Минск, Республика Беларусь

*Анализируются отличия в визуальном восприятии объектов и их двумерных изображений. Так же приводятся математические зависимости, позволяющие качественно оценить разницу между осевой скоростью изображения объекта как функцию для зрителя и наблюдателя. Для найденных параметров эта функция будет равна 0.*

Актуальной тенденцией в сфере развития информационных технологий является рост скорости обмена информацией. Эта тенденция в полной мере относится и к визуальной информации, где для дистанционной оперативной передачи информации об объекте необходимо произвести запись изображений, их обработку и воспроизведение.

Если передача визуальной информации осуществляется в научных или технических целях, то требуется максимально возможная идентичность при восприятии объектов и их изображений [1, 2].

Одним из способов приблизить восприятие изображений, записанных с помощью плоских преобразователей «свет – сигнал», к восприятию реальных объектов является переход к трёхмерной визуализации [2], используемый в геодезии и аэро съемке, где задача решается с помощью компьютерной обработки изображений [3].

Если воспроизведение изображения осуществляется не в виде оптической модели, а стереоскопическим или традиционным («плоским») методами, то возникают различия в восприятии объектов и их изображений [4]. В основном их анализ сводится к качественному описанию [5, 6, 7]. В настоящей статье произведен количественный анализ различия в восприятии скорости движения объектов и их изображений, воспроизведенных на экране традиционным методом.

При рассматривании объектов в окружающем пространстве воспринимать глубину изображения человеку помогают три основных механизма – аккомодация (фокусировка глаза на определенное расстояние), конвергенция (по-

ворот оптических осей глаз до пересечения на рассматриваемой точке) и диспаратность (несимметричность оптических изображений объекта на сетчатках левого и правого глаз). При изменении точки зрения содержание изображений объекта на сетчатках изменяется, он воспринимается в новом ракурсе.

Когда зритель рассматривает воспроизведенное на плоском экране изображение, конвергенция и аккомодация осуществляются на плоскость экрана, при изменении точки зрения эффект диспаратности не действует. Поэтому восприятие объемности изображения достигается за счет вторичных эффектов: изменение увеличения по глубине пространства, заслонения дальних объектов близкими, воздушной дымки и т.д.

Кроме нарушения восприятия объемности, используемые в настоящее время методы записи и воспроизведения изображений приводят к изменению воспринимаемых зрителем размеров изображения и скоростей перемещения изображений вдоль оптической оси по сравнению с этими параметрами для реальных объектов.

Если материал снят для художественных целей, это вполне допустимо, даже иногда желательно для создания определенных эффектов. Если же запись зрительной информации осуществляется для исследовательских или технических целей, такие искажения могут привести к ошибкам в анализе, их необходимо учитывать и по возможности компенсировать.

Проанализируем восприятие наблюдателем и зрителем предмета и его продольной скорости в зависимости от различных факторов. На рисунке 1 показана схема расположения

наблюдателя относительно предмета. Эта же схема применима и к зрителю, воспринимающему снятое на камеру изображение предмета с экрана. Только в этом случае расстояние от зрителя до экрана будет фиксированным и равным  $L_3$ .

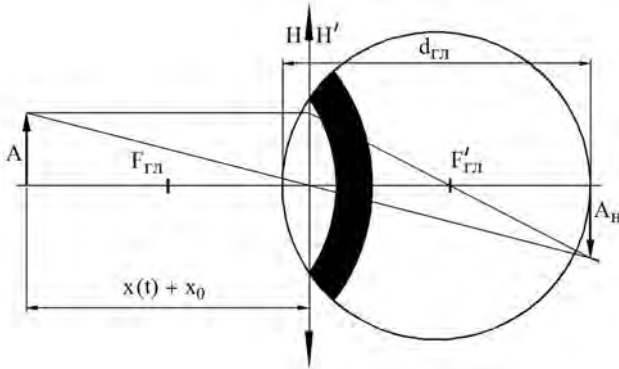


Рисунок 1 – Схема расположения наблюдателя относительно предмета

Размер изображения, полученного на сетчатке наблюдателя, определяется по формуле:

$$A_H = -\frac{Ad_{\text{ае}}}{x(t) + x_0}, \quad (1)$$

где  $A_H$  – размер изображения предмета на сетчатке наблюдателя;  $A$  – размер предмета;  $d_{\text{ае}}$  – диаметр глазного яблока;  $x(t)$  – закон изменения положения предмета;  $t$  – время движения предмета (для наблюдателя) или время съемки (для камеры);  $x_0$  – начальное положение предмета относительно глаз наблюдателя либо относительно объектива камеры.

При определении размера изображения, полученного на сетчатке зрителя, необходимо учесть, что оно было записано с помощью фото- или видеокамеры (рисунок 2).

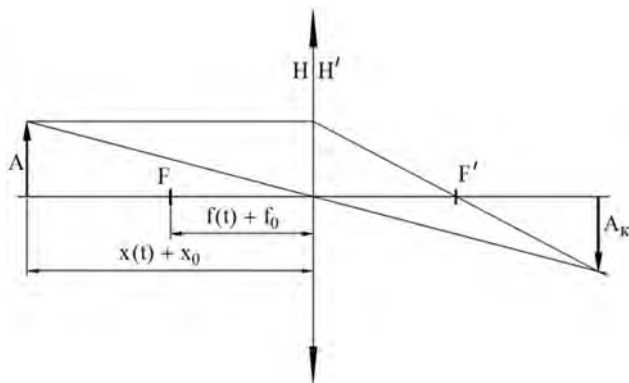


Рисунок 2 – Схема получения изображения на матрице камеры

Размер изображения, полученного на матрице цифровой видеокамеры, определяется по формуле:

$$A_K = -A \frac{f(t) + f_0}{x(t) + x_0 + f(t) + f_0}, \quad (2)$$

где  $A_K$  – размер изображения на матрице цифровой камеры;  $f(t)$  – закон изменения фокусного расстояния объектива камеры;  $f_0$  – начальное фокусное расстояние объектива камеры.

Поскольку зритель – это тот же наблюдатель, но воспринимающий не сам объект, а его изображение с экрана, записанное камерой и показанное с помощью проектора, то выражение (1) с учетом (2) для зрителя примет вид:

$$A_{\text{зб}} = -\frac{A \cdot 3d_{\text{ае}}}{4k_y b_{i0}} \cdot \frac{f(t) + f_0}{x(t) + x_0 + f(t) + f_0}, \quad (3)$$

где  $A_{\text{зп}}$  – размер изображения предмета на сетчатке зрителя;  $3/4$  – коэффициент, равный отношению высоты кадра к его ширине;  $b_m$  – ширина матрицы камеры;  $k_3$  – отношение расстояния от зрителя до экрана  $L_3$  к ширине экрана  $B_3$ :

$$k_y = \frac{L_y}{B_y}.$$

Продифференцируем (1) по времени. Выражение для скорости изменения размеров изображения на сетчатке наблюдателя примет вид:

$$V_H = Ad_{\text{ае}} \frac{V_x}{(x(t) + x_0)^2}, \quad (4)$$

где  $V_H$  – скорость изменения размеров изображения на сетчатке наблюдателя;  $V_x(t)$  – закон изменения скорости предмета, удаляющегося от наблюдателя.

С учетом того, что при равномерном движении предмета вдоль оптической оси объектива закон изменения положения предмета  $x(t)$  примет вид:

$$x(t) = V_x(t) \cdot t.$$

Скорость изменения изображения на сетчатке наблюдателя с учетом (4) можно найти как:

$$V_H = Ad_{\text{аэ}} \frac{V_x}{(Vt + x_0)^2}, \quad (5)$$

где  $V$  – средняя постоянная скорость прямолинейного движения предмета.

Для нахождения скорости изменения размеров изображения на сетчатке зрителя продифференцируем (3) по времени.

Рассмотрим самый простой случай, когда съемка предмета происходит с постоянным фокусным расстоянием; расстояния между предметом и наблюдателем, а также между предметом и камерой равны; время движения предмета совпадает со временем съемки.

В этом случае выражение для скорости изменения изображения на сетчатке наблюдателя примет вид:

$$V_{\text{сд}} = -\frac{A \cdot 3d_{\text{аэ}}}{4k_y b_{i0}} \cdot \frac{V_x(t) + f_0}{(x(t) + x_0 + f_0)^2}, \quad (6)$$

где  $V_{\text{сп}}$  – скорость изменения изображения на сетчатке зрителя.

При равномерном движении объекта вдоль оптической оси объектива скорость изменения изображения на сетчатке наблюдателя с учетом (6) можно найти как:

$$V_{\text{сд}} = -\frac{A \cdot 3d_{\text{аэ}}}{4k_y b_i} \cdot \frac{Vf_0}{(Vt + x_0 + f_0)^2}. \quad (7)$$

Скорости изменения изображения на сетчатке наблюдателя и зрителя субъективно оцениваются ими как осевые скорости движения объекта.

Приведем сравнение этих скоростей в функции ряда параметров, построив графики этих скоростей, вычисляемых соответственно по формулам (5) и (7), в зависимости от времени  $t$ , начального положения объекта  $x_0$ , скорости движения объекта  $V$  при средних значениях прочих параметров.

При проведении расчетов было принято, что видеосъемка производилась цифровой видеокамерой Sony DSR-400PK.

Зависимости скоростей изменения изображения предмета на сетчатке наблюдателя и зрителя от времени, приведенные на рисунке 3, вычислены для следующих фиксированных параметров:

$A = 1,8$  м;  $d_{\text{гл}} = 24,4 \cdot 10^{-3}$ ;  $V = 15,28$  м/с;  $x_0 = 50,5$  м;  $b_m = 10,16 \cdot 10^{-3}$  м;  $k_3 = 3$ ;  $f_0 = 87 \cdot 10^{-3}$  м, обозначения которых указаны выше.

Из рисунка 3 следует, что разность между скоростями осевого движения для зрителя и наблюдателя изменяется во времени, при удалении предмета она максимальна в начале движения предмета и стремится к нулю при увеличении времени движения предмета.

Зависимости скоростей изменения изображения предмета на сетчатке наблюдателя и зрителя от первоначального расстояния  $x_0$  между предметом и наблюдателем, приведенные на рис.4, вычислены для следующих фиксированных параметров:

$A = 1,8$  м;  $d_{\text{гл}} = 24,4 \cdot 10^{-3}$ ;  $V = 15,28$  м/с;  $t = 5,5$  с;  $b_m = 10,16 \cdot 10^{-3}$  м;  $k_3 = 3$ ;  $f_0 = 87 \cdot 10^{-3}$  м.

Из графиков на рис.4 видно, что разность между скоростями осевого движения для зрителя и наблюдателя максимальна при рассмотрении и съемке близко расположенного предмета и стремится к нулю при увеличении этого расстояния.

Зависимости скоростей изменения изображения предмета на сетчатке наблюдателя и зрителя от скорости движения предмета в случае его удаления, приведенные на рис.5, вычислены для следующих фиксированных параметров:

$A = 1,8$  м;  $d_{\text{гл}} = 24,4 \cdot 10^{-3}$ ;  $x_0 = 50,5$  м;  $t = 5,5$  с;  $b_m = 10,16 \cdot 10^{-3}$  м;  $k_3 = 3$ ;  $f_0 = 87 \cdot 10^{-3}$  м.

Из графиков на рисунке 5 видно, что зависимость разности между скоростями осевого движения для зрителя и наблюдателя при удалении предмета от его скорости имеет сложный характер: при низкой скорости разность мала, быстро достигает максимума для заданных в расчете параметров при скорости предмета порядка 9 м/с и плавно уменьшается при дальнейшем увеличении скорости.

Чтобы приблизить условия восприятия изображения к реальным, необходимо обеспечить равенство скоростей изменения изображения предмета на сетчатке наблюдателя и зрителя:

$$V_{\text{сд}}(t) = V_H(t). \quad (8)$$

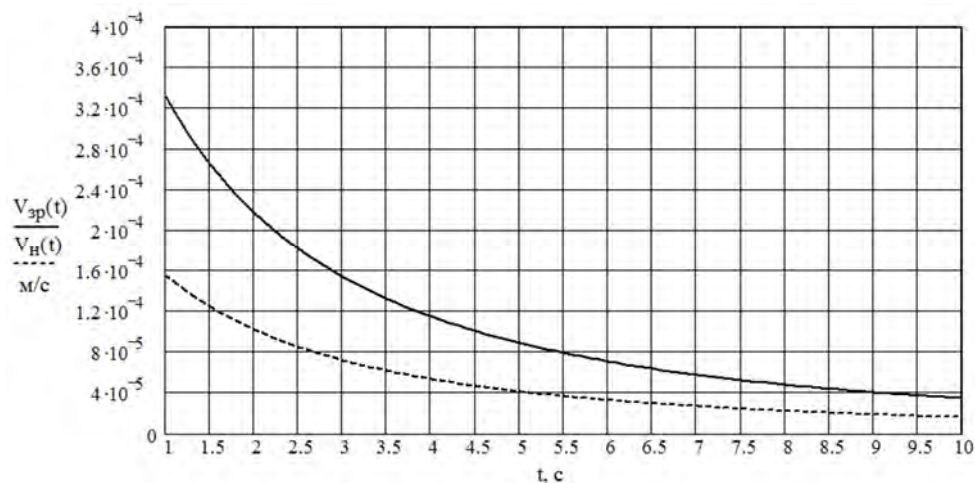


Рисунок 3 – Графики зависимости скорости изменения предмета на сетчатке зрителя и наблюдателя от времени движения предмета

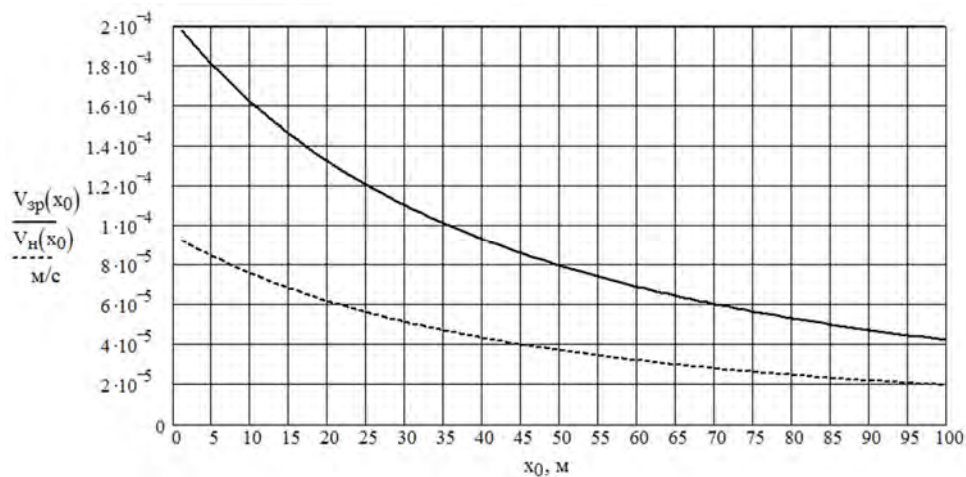


Рисунок 4 – Графики зависимости скорости изменения предмета на сетчатке зрителя и наблюдателя от положения предмета

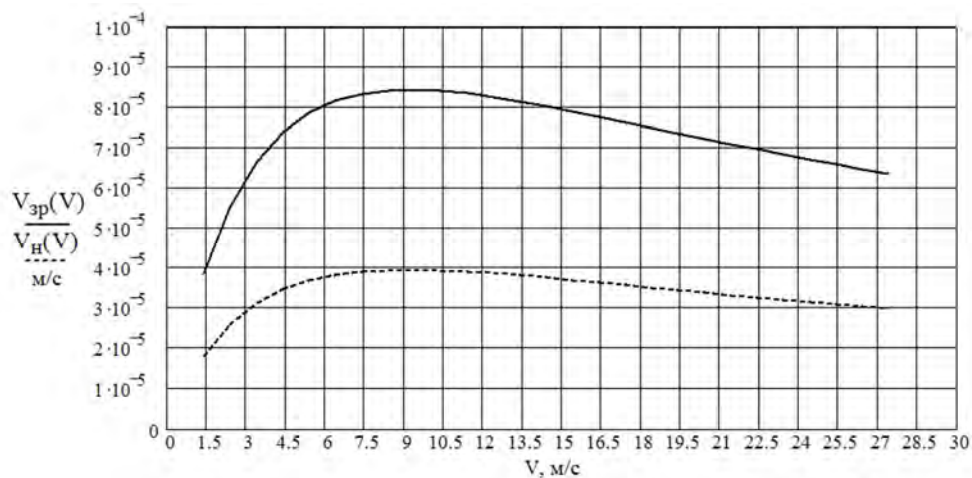


Рисунок 5 – Графики зависимости скорости изменения предмета на сетчатке зрителя и наблюдателя от скорости движения предмета

Подставив зависимости (5) и (7) в левую и правую части уравнения, приведем его к виду:

$$k_{\dot{y}} = \frac{3f_0}{4b_i} \cdot \left( \frac{Vt}{(Vt + x_0 + f_0)^2} \right). \quad (9)$$

Поскольку величина  $f_0$  намного меньше, чем каждое из слагаемых в скобках, и она не будет оказывать существенное влияние на функцию, то ей можно пренебречь. Тогда упрощенное выражение (9) примет вид:

$$k_{\dot{y}} = \frac{3f_0}{4b_i}. \quad (10)$$

Из формулы (10) следует, что условие равенства скоростей содержит три параметра: отношение  $k_3$ , расстояния от зрителя до экрана  $L_3$ , к ширине экрана  $B_3$ ; фокусное расстояние  $f_0$  объектива камеры и ширину  $b_m$  матрицы камеры.

Условие (10) для выбранных ранее параметров соблюдается при  $k_3$ , равном 6,4. Это означает, что зритель будет воспринимать осевую скорость движения предмета как наблюдатель только в том случае, если он будет расположен на расстоянии от экрана, равном 6,4 его ширины. Например, при ширине экрана, равной 6 м (в кинозале), зритель должен находиться на расстоянии 38,4 м от экрана, а при ширине экрана 0,5 м (перед дисплеем) – на расстоянии 3,2 м от экрана.

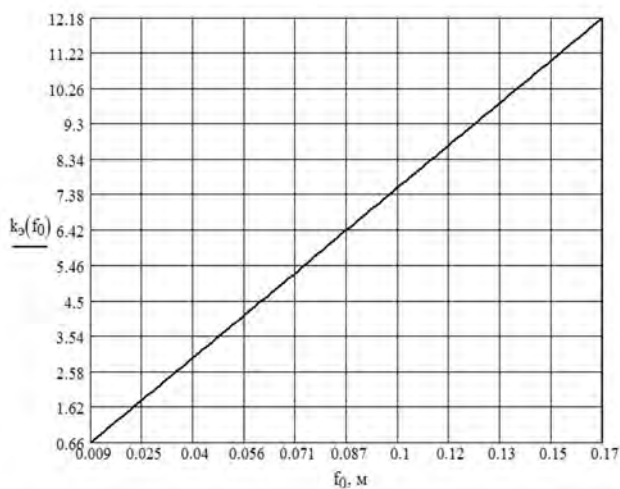


Рисунок 6 – График зависимости  $k_3$  от фокусного расстояния объектива камеры

В кинотеатрах обычно последний ряд расположен на расстоянии, равном пятикратной ширине экрана, и при работе с дисплеем зритель располагается ближе, чем на расстоянии 3,2 м.

Поэтому имеет смысл выбрать при съемке видеокамерой Sony DSR-400PK, имеющей фиксированные размеры матрицы, другое значение фокусного расстояния  $f_0$ . Для этого был построен приведенный на рисунке 6 график зависимости  $k_3$  от  $f_0$ , ширина матрицы для Sony DSR-400PK составляет 10,16 мм.

По графику для заданной ширины матрицы можно выбирать фокусное расстояние для съемки при фиксированном положении зрителя относительно экрана и, наоборот, задавать положение зрителя при заданном фокусном расстоянии съемки.

Как видно из графика на рисунке 6, для принятого нами ранее при расчетах значения  $k_3$ , равного 3, фокусное расстояние объектива  $f_0$ , при котором разность в восприятии скорости движения предмета наблюдателем и зрителем сводится к нулю, должно быть равно 41 мм.

## Выводы

Предложенные в настоящей статье математические зависимости позволяют произвести количественный анализ разности в восприятии осевой скорости движения предмета наблюдателем и зрителем.

Упомянутая разность является функцией ряда параметров видеокамеры, начального положения и скорости предмета. Определено условие, при выполнении которого зритель и наблюдатель воспринимают осевую скорость движения предмета одинаково, но и при соблюдении равенства скоростей полной идентичности восприятия не будет, так как при рассмотрении предмета и изображения по-разному работают механизмы аккомодации, конвергенции и диспаратности.

## Список цитируемых источников

1. Лапшин, В. Е. Место происшествя как объект экспертного исследования: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата юридических наук. Специальность 12.00.09 – Уголовный процесс; Криминалистика и судебная экспертиза; Оперативно-розыскная деятельность / В.Е. Лапшин; науч.

- рук. Т. В. Аверьянова. – Нижний Новгород, 2003. – 28 с.
2. Трёхмерное ГИС-моделирование и техническая инвентаризация [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.dataplus.ru/arcrev/Number\\_38/19\\_3Dmodel.html](http://www.dataplus.ru/arcrev/Number_38/19_3Dmodel.html) – Загл. с экрана.
  3. Книжников, Ю. Ф. Компьютерная система для измерения цифровых стереопар при решении нетопографических задач и научных исследованиях / Ю.Ф. Книжников, Р.Н. Гельман // Геодезия и картография, 1999. – №2. – С. 136–149.
  4. ШЕ Xplore. Study on the perception mechanism and method of virtual and real objects in augmented reality assembly environment /Jingzhou Song Qingxuan Jia Hanxu Sun Xin Gao Autom. Sch., Beijing Univ. of Posts & Telecommun., Beijing / This paper appears in: [Industrial Electronics and Applications, 2009. ICIEA 2009. 4th IEEE Conference on](#). Publication Date: 25-27 May 2009. On page(s): 1452–1456. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fiel5%2F5089335%2F5138149%2F05138442.pdf%3Farnumber%3D5138442&authDecision=-203> – Загл. с экрана.
  5. Особенности процесса восприятия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://premierevideo.com.ua/index.php?option=com\\_content&task=view&id=39&Itemid=57](http://premierevideo.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=39&Itemid=57) – Загл. с экрана.
  6. Гордийчук, И. Б. Техника съемки в искусстве кинооператора / И. Б. Гордийчук, Л. Ф. Снятинская – М. : Искусство, 1983. – 303 с.
  7. Ершов, К. Г. Киносъемочная техника / К. Г. Ершов – Л. : Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. – 272 с., ил.

---

Zaytseva E. G., Nikitin V. V.

### **The analysis of differences in visual perception of axial velocities objects and they images**

Differences in visual perception of objects and their two-dimensional images are analyzed in this research paper. Mathematical functions are given – they allow quantitatively estimate difference between axial velocities image of object as function for spectator and observer. This difference is equal to zero by parameters, that are found.

*Поступила в редакцию 30.03.2010.*