
Короткие сообщения

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОСПРИЯТИЯ ГЛУБИНЫ ПЛОСКОСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, РЕГИСТРАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ГЛАЗ

В.Н. АНТИПОВ^а, А.В. ЖЕГАЛЛО^{б,с}, Д.З. ГАЛИМУЛЛИН^д,
М.Г. ФАЗЛЫЙХМАТОВ^а

^а Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Россия, Казань, ул. Кремлевская, д. 18

^б ФГБУН Институт психологии РАН, 129366, Россия, Москва, ул. Ярославская, д. 13, к. 1

^с Московский городской психолого-педагогический университет, 127051, Россия, Москва, ул. Сре-тенка, д. 29

^д Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязова (ИЭУП), 420111, Россия, Казань, ул. Московская, д. 42

Резюме

В настоящей статье приводятся результаты экспериментов по выявлению способности трехмерного восприятия плоскостных изображений. Объектом исследования была направленность глаз при рассматривании различных типов изображений. Предполагалось, что восприятие глубины плоскостного изображения будет оказывать влияние на движение глаз. В задачу исследования входило сопоставление уровня восприятия глубины плоскостного изображения с характеристиками движения глаз при восприятии стереоскопической глубины стереограммы и глубины восприятия растрового 3D-изображения. В результате проведенных экспериментальных исследований подтверждена гипотеза о возможности регистрации способности трехмерного восприятия плоскостного изображения. Определение X-координат направления взгляда правого и левого глаза, вычисление разности ΔX этих координат позволяют зарегистрировать восприятие глубины и объема плоскостного изображения. В условиях трехмерного восприятия изображения плоскость воспринимаемого изображения располагается за ним на расстоянии 8–58 см. В условиях восприятия глубины растрового 3D-изображения плоскость воспринимаемого изображения располагается на расстоянии 23–37 см за растром. Вычисление гистограммы разности $\Delta X(t)$ и построение ее контура за время измерений показывают, что восприятие глубины, объема плоскостного изображения и глубины растрового изображения подчиняются общим закономерностям. В первую очередь это местоположение контура ΔX в области отрицательных значений гистограммы распределения величин ΔX . В условиях восприятия стереоскопической глубины стереограмм контур гистограмм разности включает весь диапазон бинокулярного смещения образов стереограммы. Аналогичный вид контура зарегистрирован и при плоскостном восприятии стереограммы. Допускается предположение, что контур

гистограммы разности стереограммы в условиях ее плоскостного восприятия включает и эффекты рельефности. Представленный экспериментальный материал показывает, что эффекты восприятия глубины, объема плоскостного изображения характеризуются как минимум одним уровнем величины со стереоскопической глубиной стереограмм, глубиной восприятия растрового 3D-изображения.

Ключевые слова: когнитивное восприятие, креативное мышление, объемность плоских изображений, рельефность, инсайт.

Введение

Стереоскопическое зрение человека (Шиффман, 2003) (или стереопсис) предполагает совместную работу двух глаз, совмещение двух «точек зрения» на один и тот же объект. Слияние (или фузия) в зрительных центрах головного мозга информации от двух глаз создает ощущение объема и глубины пространственных объектов, попадающих в поле зрения человека. В том случае, если в поле зрения попадает плоскостное изображение, в зрительных центрах формируются одинаковые изображения.

Восприятие плоскостных изображений (в том числе и произведений живописи) основано на статичных монокулярных признаках, называемых пикторальными или картинными (Там же). Они передают глубину и расстояние изобразительными средствами, т.е. создают иллюзию объема на двумерной поверхности. К монокулярным признакам относятся: интерпозиция (частичное загороживание), воздушная перспектива, затененность, линейная перспектива, градиенты текстуры, относительный и знакомый размер (Там же). По мнению Б.В. Раушенбаха (2001), нет картин, создающих полную иллюзию пространственности. Монокулярные признаки лишь в слабой степени способны ее создавать, а бинокулярные признаки пространства (т.е. информацию от двух глаз) на картине изобразить невозможно. Более того, монокулярные признаки препятствуют возникновению иллюзии пространства при взгляде на картину. Решение проблемы воспроизведения бинокулярных признаков на картине возможно с использованием стереоскопа.

В учебнике «Ощущение и восприятие» (Гусев, 2007) приводится цитата Дж. Гибсона о том, что после опубликования законов перспективы, сформулированных в работах Леонардо да Винчи, «мы научились мыслить картинными, и этот способ мышления стал привычным... Но смешивать картинную перспективу с перспективой естественной — значит с самого начала неправильно ставить проблему зрительного восприятия».

Современные компьютерные технологии создают плоскостные изображения с использованием трехмерного моделирования и применения монокулярного параллакса движения, динамической перспективы и др. Возможно, новые условия массированного влияния плоскостных изображений на зрительное восприятие способствуют новому принципу получения пространства на плоскости. Структурируются иные законы восприятия глубины, объема

пространственной перспективы, следовательно, и мышления. Они доводят восприятие глубины до уровня, подобного получаемому с применением стереоскопических проекций.

Так, с приоритетом от 3 февраля 2003 г. запатентована (Пат. № 2264299 РФ, пат. № 2318477 РФ, пат. № 2391948 РФ) образовательная технология развития способности восприятия глубины, объема и пространственной перспективы образов на плоскостных изображениях (далее – КС) (Антипов, Якушев, 2011; Минзарипов и др., 2009). Иными словами, перенесение трехмерного восприятия с объектов среды обитания на результаты деятельности мышления человека, на плоскостные изображения и удаленные объекты (Антипов, 2003). Предполагается, что КС развивается в результате обучения наблюдения в условиях наложения (фузии) стереоскопической глубины стереоскопических проекций, стереограмм, глубины растровых 3D-изображений (Антипов и др., 2010).

Стереограммы, представляющие собой построенные с помощью компьютера пары изображений хаотически расположенных точек, впервые были созданы Б. Джулезом (Julez, 1960). Дальнейшим развитием идеи парных стереограмм стали автостереограммы, на которых изображения для левого и правого глаза объединены в виде одной общей картинки (Tyler, 1983; Tyler, Clarke, 1990).

Допустимо предположение, что способность восприятия глубины, объема плоскостных изображений относится к «эволюции» механизмов зрительной системы в условиях современной техногенной среды обитания.

Компьютеризация, доступность приобретения компьютеров, информатизация последних 10–15 лет привели к тому, что на порядки выросло время влияния плоскостных изображений на зрительное восприятие. Возможно, что воздействие монитора компьютера, расположенного на расстоянии 0.5 м от глаз человека, плюс пиксельное формирование изображения экрана стимулируют начальные уровни развития способности восприятия плоскостных изображений с эффектами глубины, объема (Антипов, Жегалло, 2014). Опросы по выборке почти в 1000 человек возраста от 14 до 22 лет показали, что до 90% воспринимают некоторые плоскостные изображения с эффектами рельефности. Около 1% из них утверждают, что любые плоскостные изображения воспринимают как трехмерные объекты (Антипов и др., 2010; Антипов, Жегалло, 2012).

В настоящей статье приводятся экспериментальные результаты по выявлению способности трехмерного восприятия плоскостных изображений. Работа была выполнена в Центре экспериментальной психологии Московского городского психолого-педагогического университета. Объектом исследования была направленность глаз при рассматривании различных типов изображений. Предполагалось, что восприятие глубины плоскостного изображения будет оказывать влияние на движение глаз. В задачу исследования входило сопоставление уровня восприятия глубины плоскостного изображения с характеристиками движения глаз при восприятии стереоскопической глубины стереограммы и глубины восприятия растрового 3D-изображения. При

наблюдении стереоскопической глубины в условиях наложения горизонтальных компонент стереограмм фокусировка осуществляется вне плоскости расположения стереограммы. Для растрового 3D-изображения нет необходимости осуществлять фузию стереопроекций, глубина возникает автоматически. В основе этой технологии лежит методика получения объемного восприятия плоских изображений, использующая пластиковые цилиндрические линзы. Линзовый растр приклеивается к изображению, которое заранее генерируется под 3D. Изображения кодируются так, чтобы кодируемое изображение при соединении с пластиной цилиндрических линз направляло в каждый глаз правое и левое изображение. Подготовка изображения осуществляется при помощи различного программного обеспечения.

Метод исследования

Регистрация движений глаз выполнялась с помощью айтрекера SMI HiSpeed в бинокулярном режиме (частота регистрации — 500 Гц). Испытуемый — один человек, В.А. (первый автор данной статьи, межзрачковое расстояние $d = 64$ мм), имел значительный опыт как рассматривания классических стереограмм, так и восприятия глубины при рассматривании естественных плоских изображений. Стимульный материал: плоскостные фотоизображения (текстура каменной плитки, фотофрагмент картины художника Д. Поллока «Лавандовый туман», фотоиллюстрация картины художника А.В. Флавиной «Голгофа»), два растровых 3D-изображения («Мехмату-50», картина Б. Валеджо), две обобщенные стереограммы с раздельными изображениями для левого и правого глаза.

Для наблюдения стереоскопической глубины осуществлялась фокусировка глаз вне плоскости стереограммы. Анализировалось движение глаз при рассматривании: плоскостных изображений, стереограмм в условиях 2D- и 3D-восприятия, глубины растровых 3D-изображений. Изображения экспонировались на 19" ЭЛТ-мониторе ViewSonic 90Gf, расположенном на расстоянии $h = 58$ см от глаз наблюдателя (разрешение 1280×1024 пикселей, 38 пикселей/см). Время экспозиции Δt составляло от 15 до 150 с. Растровые изображения устанавливались перед экраном монитора. Первичная запись движений глаз содержала координаты направления взора правого и левого глаза.

Техническое и программное обеспечение айтрекера позволяло в числовой шкале монитора определять горизонтальные X-координаты направления взора правого (X_R) и левого (X_L) глаза. По значениям координат вычислялись их разность и угол вергенции (α).

Угол вергенции показывает направление ориентации осей глаз и вычисляется по формуле:

$$\alpha = 2 \arctg \left(\frac{d - \Delta X}{2h} \right) \quad (1)$$

где d – межзрачковое расстояние, ΔX – разность координат направления взора левого и правого глаза, h – расстояние от экрана монитора до плоскости глаз наблюдателя.

По углу вергенции, значениям ΔX , d находилась высота H как расстояние до вершины образованного треугольника. Предполагается, что в вершине треугольника располагается плоскость воспринимаемого изображения (ПВИ); это плоскость, на которой концентрируется в точку направление взора правого и левого глаза.

Если $\Delta X = 0$, то она совпадает с плоскостью расположения рассматриваемого изображения, т.е. с плоскостью монитора.

При условии $\Delta X \neq 0$ она находится либо ближе, либо дальше экрана монитора. Расстояние до плоскости воспринимаемого изображения H вычисляется по формуле:

$$H = \frac{hd}{d - \Delta X} = \frac{d}{2tg(\alpha / 2)}. \quad (2)$$

В дополнение к представленной методике обработки результатов по массивам значений ΔX строились гистограммы разности ΔX , представляющие собой распределение вероятности плотности экспериментальных фиксаций наборов значений ΔX . Определялись основные параметры распределения: выборочное математическое ожидание, выборочное среднее квадратическое отклонение (СКО) и межквартильный размах.

Экспериментальные результаты

Выделим четыре варианта восприятия изображений.

Первый вариант – плоскостное восприятие. Обобщенная стереограмма 1 состоит из трех компонент. По горизонтальной оси откладывается разность ΔX . На вертикальной оси – плотность вероятности наблюдения текущих значений разности, полученных за время регистрации моторики глаз. Центр распределения разности ΔX при восприятии обобщенной стереограммы 1 (рисунок 1) как плоскостного изображения концентрируется в области нулевых значений (рисунок 2а). Выборочное математическое ожидание $M_{\Delta X} = 0.01$ см. Выборочное СКО $S_{\Delta X} = 0.344$ см, межквартильный размах $Iqr = 0.37$ см. Изменение знака показывает, что ПВИ может располагаться как перед монитором, так и за ним.

Второй вариант – наблюдение стереоглубины. При концентрации взгляда в точку до стереограммы (конвергенция осей глаз) и наложении (или фузии) стереоскопических проекций стереограммы 1 (рисунок 1) распределение разности ΔX (рисунок 2б) смещается в область положительных значений. Максимум распределения находится в районе 4.07 см. Выборочное математическое ожидание $M_{\Delta X} = 4.218$ см. Выборочное СКО $S_{\Delta X} = 0.44$ см, межквартильный размах $Iqr = 0.605$ см. Оценка математического ожидания для ПВИ показывает, что среднее значение ПВИ находится перед стереограммой на расстоянии 35 см от глаз. Значения координат для левого глаза больше, чем для правого.

Рисунок 1



Рисунок 2

Гистограммы разности при (а) 2D- и (б) 3D-восприятии стереограммы 1

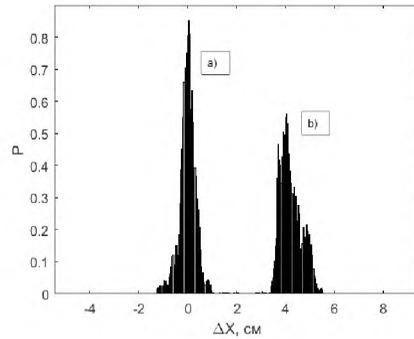


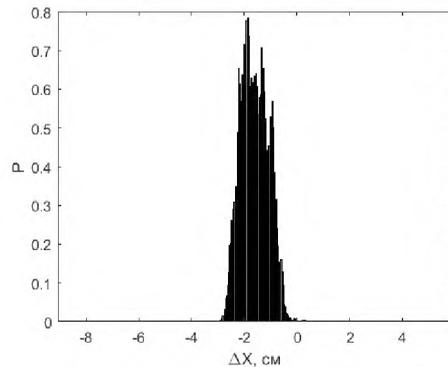
Рисунок 3

Плоская проекция растрового изображения



Рисунок 4

Гистограмма разности при 3D-восприятии растрового изображения «Мехмату-50»



Третий вариант — наблюдение глубины растрового изображения «Мехмату-50». Одна из проекций, используемых при построении растрового изображения, показана на рисунке 3. Распределение разности ΔX — в области отрицательных значений. Выборочное математическое ожидание $M_{\Delta X} = -1.623$ см (рисунок 4). Выборочное СКО $S_{\Delta X} = 1.38$ см, межквартильный размах $Iqr = 0.787$ см.

Так как центр распределения располагается в области отрицательных значений, то X-координаты правого глаза больше, чем координаты левого глаза. ПВИ концентрации взгляда располагается за плоскостью раstra на расстоянии 78 см от глаз. Межквартильный размах ПВИ равен 26.4 см. Так как небольшая часть правого крыла находится в области положительных значений ΔX , то имеются условия расположения ПВИ и перед монитором компьютера.

Четвертый вариант — объемное КС восприятие плоского изображения «Каменная плитка» (рисунок 5). Максимум распределения располагается в области -2.8 см (рисунок 6а). Выборочное математическое ожидание $M_{\Delta X} = -2.4$ см (рисунок 6а). Выборочное СКО $S_{\Delta X} = 1.15$ см, межквартильный размах $Iqr = 0.852$ см. Среднее значение ПВИ — 92.8 см от глаз. Межквартильный размах ПВИ — 41.4 см. Такие величины показывают, что ПВИ располагается за плоскостью монитора.

Рисунок 5

Фотоизображение «Каменная плитка»

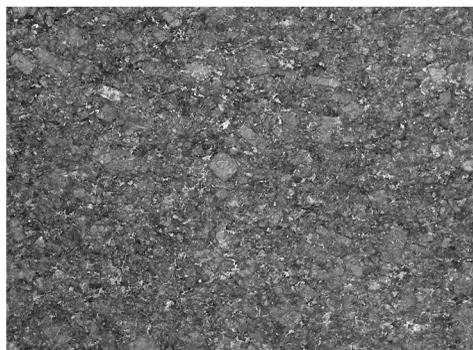


Рисунок 6а

Гистограмма разности при восприятии фотоизображения «Каменная плитка»

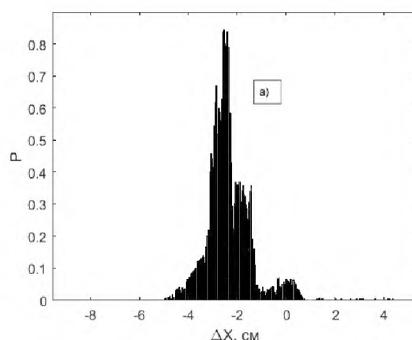


Рисунок 7

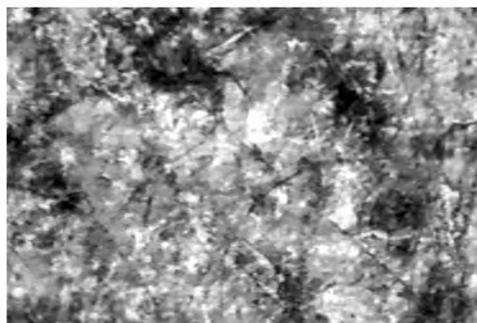
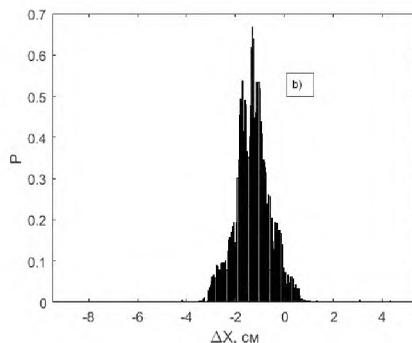
Фрагмент картины Д. Поллока
«Лавандовый туман»

Рисунок 6б

Гистограмма разности при восприятии фрагмента картины «Лавандовый туман»



Восприятие фрагмента картины Д. Поллока «Лавандовый туман» (рисунок 7). Максимум распределения разности ΔX – в области -1.66 см (рисунок 6b). Выборочное математическое ожидание $M_{\Delta X} = -1.68$ см (рисунок 6b). Выборочное СКО $S_{\Delta X} = 0.924$ см, межквартильный размах $Iqr = 0.765$ см. Среднее значение ПВИ равно 78.7 см от глаз. Межквартильный размах ПВИ составляет 26.2 см. Воспринимаемое изображение находится за плоскостью монитора на расстоянии 21 см. На правом крыле контура имеются положительные величины ΔX . Они показывают, что ПВИ некоторых образов могут располагаться и перед экраном монитора.

Восприятие плоскостного изображения «Мехмату-50» (рисунок 3). Максимум распределения разности ΔX – в области -0.76 см. Выборочное математическое ожидание $M_{\Delta X} = -0.86$ см. Выборочное СКО $S_{\Delta X} = 0.468$ см, межквартильный размах $Iqr = 0.806$ см.

На рисунке 9 показаны гистограммы разности при восприятии глубины двух вариантов размера изображения картины «Голгофа» (рисунок 8). Для варианта «а» ПВИ располагалась на расстоянии 65.6 см (или на ≈ 8 см за плоскостью монитора). На втором варианте размера ПВИ находилась на расстоянии 73.4 см, т.е. на ≈ 15 см за монитором. Межквартильный размах глубины ПВИ равен 9.3 и 15.9 см для вариантов (а) и (б) соответственно.

Рисунок 8

Два варианта размера картины «Голгофа»

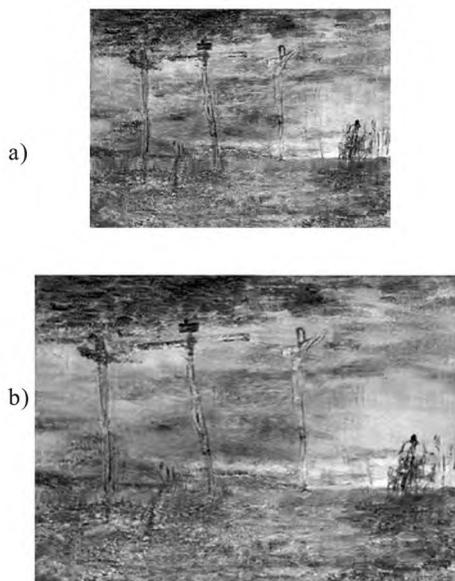
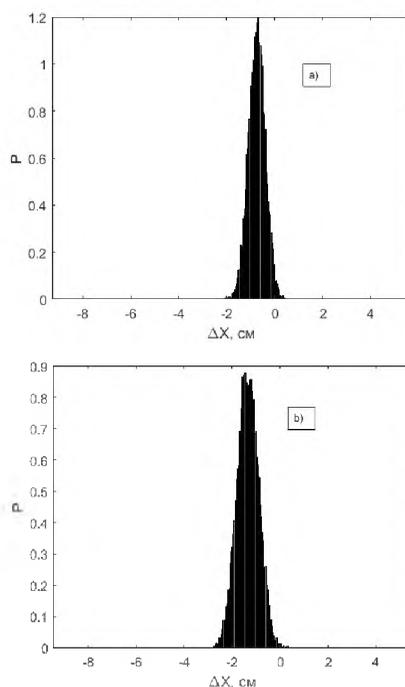


Рисунок 9

Гистограмма разности при восприятии картины: а) варианта 8a; б) варианта 8b



Максимум распределения разности ΔX для меньшего размера изображения попадает на значения -0.74 см. Выборочное СКО $S_{\Delta X} = 0.298$ см, межквартильный размах $Iqr = 0.401$ см. Максимум распределения разности X для изображения на рисунке 8b смещен в область отрицательных значений на -1.34 см. Выборочное СКО $S_{\Delta X} = 0.407$ см, межквартильный размах $Iqr = 0.544$ см.

Обсуждение результатов

В таблице 1 обобщены результаты обработки экспериментальных данных, проанализированных двумя методиками. Мы провели только оценочные сравнения и не применяли подробного статистического анализа. Первая показывает точки фиксации взгляда и оцененное среднее значение плоскости восприятия изображения, где направления зрака правого и левого глаза сходятся в точку. Это столбцы 3, 4, 5 таблицы. Вторая методика основана на построении гистограмм разности X -координат правого и левого глаза (столбцы 6, 7, 8).

Анализ графических материалов и числовых данных таблицы 1 показывает, что при восприятии глубины и объема плоскостных изображений правый и левый глаз концентрируются в точку, расположенную за плоскостью рассматриваемого изображения (строки 7–11, столбцы 3–5). ПВИ удалена от глаз на расстояния от 65.6 до 92.8 см. При этом межквартильный размах значений глубины охватывает расстояния от глаз в интервале от 58.5 до 117.9 см.

Аналогичные показатели расположения ПВИ при наблюдении растровых 3D-изображений составляют величину 77.8; 82.3 см, а значения глубины концентрации взгляда в первом $Q1$ и третьем $Q3$ квантиле – от 73.2 до 95.9 см (столбец 4, строки 5, 6).

Сравним показатели диапазона изменения глубины (столбец 5) в условиях КС (строки 7–11), при наблюдении глубины растровых изображений с аналогичными данными при восприятии стереоглубины стереограмм (строки 1, 2). Сравнение по F -критерию равенства дисперсий Фишера показывает, что в условиях наблюдения стереоглубины стереограмм диапазон изменения глубины концентрации взгляда (ощущение объема) в 2–12 раз меньше по сравнению с условиями восприятия КС.

По второй методике анализа видно, что оценочные средние гистограммы разности X в условиях плоскостного восприятия стереограмм располагаются в области нуля и не более интервала от -0.08 до 0.01 см (строки 3, 4). Значения разности X внутри межквартильного размаха находятся в диапазоне от -0.48 до 0.38 см.

В условиях восприятия стереоглубины стереограмм гистограммы разности X смещаются в область положительных значений с оценочными средними значениями 4.22 и 5.74 см. Сдвиг контура задается смещением образов друг относительно друга. Например, для стереограммы (рисунок 1) на экране монитора смещение эмблемы Казанского университета составляло приблизительно 5 см (4.90), а для второй стереограммы максимальное расположение между образами было ~ 7 см (6.90). Особо отметим, что при построении стереоскопических

Таблица 1

Результаты исследований

№	Изображение, условия	Местоположение ПВИ от глаз, см	Значение ПВИ в 1-м Q1 и 3-м Q3 квартиле, см	Межквартильный размах ПВИ Iqr, см	Выборочное математическое ожидание $M_{\Delta x}$, см	Выборочное СКО $S_{\Delta x}$, см	Межквартильный размах Iqr, см
1	Стереограмма 1, стереоглубина (СГ)	34.6	33.1–37.1	4.0	4.22	0.440	0.605
2	Стереограмма 2, СГ	30.6	29.2–32.1	2.9	5.74	0.416	0.575
3	2D-восприятие стереограммы 1				0.01	0.344	0.370
4	2D-восприятие стереограммы 2				–0.08	0.376	0.410
5	Растр «Мехмату-50»	77.8	73.2–66.8	26.4	–1.62	1.380	0.787
6	Растр картины Б. Вальдхо	82.3	67.8–95.9	27.2	–1.89	1.181	0.794
7	«Каменная плитка», КС	92.8	117.9–76.5	41.4	–2.40	1.150	0.852
8	«Лавандовый туман», КС	86.3	71.8–104.8	33.0	–1.68	0.924	0.765
9	«Голгофа», рис. 8а, КС	65.6	70.6–61.3	9.3	–0.74	0.298	0.401
10	«Голгофа», рис. 8b, КС	73.4	82.2–66.3	15.9	–1.34	0.407	0.544
11	«Мехмату-50», КС	67.0	78.4–58.5	19.9	–0.86	0.468	0.806

проекций сдвиг между отдельными образами был не более 20% от максимального смещения. Если вернуться к рисунку 1, то смещение отдельных элементов эмблемы Казанского университета было до 0.75 см (0.740). Именно такие небольшие смещения обеспечивают наблюдение стереоглубины (рисунок 1) в условиях концентрации взгляда перед плоскостью страницы со двоением и наложением эмблемы Казанского университета. Эмблем становится четыре, две средние (как и остальные фразы) воспринимаются с эффектами стереоскопической глубины. Следовательно, гистограмма разности (см. рисунок 2а) включает все уровни восприятия стереоскопической глубины стереограммы. Простые вычисления показывают, что если 4.22 см ΔX эквивалентны расстоянию в 5 см, то межквартильный размах гистограммы разности в 0.605 см ΔX соответствует 0.72 см в шкале стереоскопического смещения образов. Это составляет 15% от величины стереоскопического смещения. Иными словами, приблизительно половина ширины контура гистограммы разности сформирована стереоскопическими условиями смещения построения стереограмм. Остальная часть приходится на всевозможные погрешности.

С проведенным арифметическим расчетом сравним показания при плоскостном восприятии стереограмм (таблица 1, строки 3, 4) с условиями наблюдения стереоскопической глубины стереограмм (строки 1, 2). Значение F-теста Фишера равенства дисперсий равно 1.11. Получается, что ширина контура для двух вариантов восприятия стереограмм совпадает на 95%. Можно сделать вывод: в гистограммы разности плоскостного восприятия входят переменные, вызванные колебаниями изменения величины до ПВИ с условиями неустойчивого трехмерного восприятия некоторых образов стереограмм. Возможно, они и создают эффект рельефности в восприятии плоскостного изображения, который выявлен нами для 90% выборки из ≈ 1000 человек (Антипов и др., 2010; Антипов, Жегалло, 2012).

Оценочные средние значения гистограмм разности X-координат в условиях восприятия глубины растровых изображений располагаются в области отрицательных значений (рисунок 4; таблица 1, строки 5, 6; столбцы 6–8). Отрицательные величины показывают, что в шкале ΔX значения X-координат правого глаза больше по величине, чем левого. В области положительных значений располагается небольшая часть набора данных гистограмм разности.

Аналогичные распределения гистограмм разности получены и при восприятии глубины КС плоскостных изображений (строки 7–11, столбцы 6–8). Оценочные средние значения гистограмм разности ΔX всегда попадают в область отрицательных величин интервала от минус 0.74 до -2.4 см. Максимально сдвинут в область отрицательных чисел контур гистограммы разности для каменной плитки (рисунок 5 и рисунок 6а). На 0.72 см ΔX ближе к нулевому значению максимум гистограммы разности при восприятии фрагмента картины «Лавандовый туман» (рисунки 7, 6b).

F-тест равенства дисперсий Фишера показывает, что ощущение объема растрового изображения «Мехмату-50» до 8.5 раз больше, чем при КС плоскостного восприятия этого же изображения.

Рисунки 8, 9, строки 9, 10 таблицы 1 показывают, что размер изображений оказывает влияние на эффекты восприятия глубины. Так, увеличение размера изображения сдвигает центр гистограммы разности (с -0.74 до -1.34 см ΔX). Тем самым увеличенное изображение воспринимается в ~ 1.3 раза дальше. F-тест Фишера показывает увеличение объема изображения до 1.8 раза.

Выводы

1. Гипотеза о возможности регистрации способности трехмерного восприятия плоскостного изображения подтвердилась. Определение X-координат направления взора правого (X_R) и левого (X_L) глаза, вычисление разности $\Delta X = X_R - X_L$ позволяют зарегистрировать восприятие глубины и объема плоскостного изображения. В условиях трехмерного восприятия изображения его ПВИ располагается за ним на расстоянии 8–35 см. В условиях восприятия глубины растрового 3D-изображения ПВИ располагается на расстоянии 20–24 см за растром.

Вычисление и построение гистограммы разности $\Delta X(t)$ за время измерений показывают, что восприятие глубины, объема плоскостного изображения и глубины растрового изображения подчиняются общим закономерностям. В первую очередь, это местоположение контура ΔX в области отрицательных значений гистограммы распределения величин ΔX .

В условиях восприятия стереоскопической глубины стереограммы гистограмма разности включает весь диапазон бинокулярного смещения образов стереограммы. Аналогичный вид гистограммы зарегистрирован и при плоскостном восприятии стереограммы. Допускается предположение, что гистограмма разности стереограммы в условиях ее плоскостного восприятия включает и эффекты рельефности.

Представленный экспериментальный материал показывает, что эффекты восприятия глубины, объема плоскостного изображения характеризуются, как минимум одним и тем же уровнем величины со стереоскопической глубиной стереограмм, глубиной восприятия растрового 3D-изображения.

2. Представленная работа позволила разработать методику тестирования на восприятие глубины и объема плоскостных изображений.

Заключение

Используя опыт экспериментальных исследований, представленных в настоящей работе, мы приступили к статистическому анализу восприятия глубины, объема плоскостных изображений среди молодежи школьного возраста и вузовского обучения. Ранее мы уже получали субъективные показатели восприятия глубины. В настоящее время мы добавляем к ним экспериментальные результаты с применением портативного бинокулярного айтрекера. Предварительные оценки показывают, что существенно расширяются области плоскостей воспринимаемых изображений.

Мы высказываем предположение, что изменение восприятия образов плоскостных изображений может подпадать под аналог процесса «инкубации», рассматриваемой в работе Е.А. Валуевой, Д.В. Ушакова (2017) с последующим образованием нового решения зрительного восприятия. Новое решение — это восприятие пространственных атрибутов плоскостных изображений с совершенно иным принципом обработки информации. Тем самым образования эффектов пространственных атрибутов на образах плоскостных изображений. Причем в качестве факторов, способствующих такому решению, становится «вал» новых плоскостных изображений, ранее не попадавших в поле зрения человека.

Литература

- Антипов, В. Н., Баландин, И. О., Валеева, Р. Р. (2010). Рельефность плоских изображений сегодня — это модель развития зрения человека в будущем. В кн. В. А. Барабанщиков (ред.), *Экспериментальная психология в России: традиции и перспективы* (с. 200–205). М.: Изд-во «Институт психологии РАН».
- Антипов, В. Н., Жегалло, А. В. (2012). Экспериментальное изучение 3D-восприятия образов плоскостных изображений. В кн. В. А. Барабанщиков (ред.), *Экспериментальный метод в структуре психологического знания* (с. 187–194). М.: Изд-во «Институт психологии РАН».
- Антипов, В. Н., Жегалло, А. В. (2014). Трехмерное восприятие плоскостных изображений в условиях компьютеризованной среды обитания. *Экспериментальная психология*, 7(3), 97–111.
- Антипов, В. Н., Якушев, Р. С. (2011). Интуитивный экспериментально-физический подход в образовательном проекте по развитию интеллектуальных способностей человека. *Образовательные технологии и общество*, 14(1), 400–406.
- Валуева, Е. А., Ушаков, Д. В. (2017). Инсайт и инкубация в мышлении: роль процессов осознания. *Сибирский психологический журнал*, 63, 19–35. doi:10.17223/17267080/63/2
- Гусев, А. Н. (2007). *Ощущение и восприятие*. М.: Издательский центр «Академия».
- Минзаринов, Р. Г., Антипов, В. Н., Читалин, Н. А., Шапошников, Д. А., Балтина, Т. В., Скобельцина, Е. Г., Якушев, Р. С. (2009). О применении методики развития объемного креативно-когнитивного зрения в инновационном образовательном пространстве. *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки*, 151(3), 266–277.
- Раушенбах, Б. В. (2001). *Геометрия картины и зрительное восприятие*. СПб.: Азбука-классика.
- Шиффман, Х. Р. (2003). *Ощущение и восприятие*. СПб.: Питер.

Ссылки на зарубежные источники см. в разделе *References* после англоязычного блока.

Антипов Владимир Николаевич — доцент, кафедра Биомедицинской инженерии и управления инновациями, Инженерный институт, Казанский (Приволжский) федеральный университет, кандидат физико-математических наук.

Сфера научных интересов: когнитивная психология, зрительное восприятие, креативное мышление, интуиция, интеллект, творчество.

Контакты: Vladimir.Antipov@kpfu.ru

Жегалло Александр Владимирович — научный сотрудник, лаборатория познавательных процессов и математической психологии, Институт психологии РАН; старший научный сотрудник, Центр экспериментальной психологии, Московский государственный психолого-педагогический университет, кандидат психологических наук.

Сфера научных интересов: когнитивная психология, зрительные фиксации, эмоциональные экспрессии, выражение лица, невербальное поведение.

Контакты: zhegs@mail.ru

Галимуллин Дамир Зиннурович — доцент, кафедра информационных технологий и безопасности, Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязова (ИЭУП), кандидат физико-математических наук.

Сфера научных интересов: математическое моделирование, оптика, обработка данных.

Контакты: galimullin_d.z@mail.ru

Фазлыяхматов Марсель Галимзянович — ассистент, кафедра биомедицинской инженерии и управления инновациями, Инженерный институт, Казанский (Приволжский) федеральный университет.

Сфера научных интересов: когнитивная психология, изобретательство, акустика и ультразвук, метрология.

Контакты: mfazlyjy@kpfu.ru

The Experimental Study of the Visual Perception of Depth the Flat Images, Eye Movement Registration

V.N. Antipov^a, A.V. Zhegallo^{b,c}, D.Z. Galimullin^d, M.G. Fazlyyyakhmatov^a

^a *Kazan (Volga Region) Federal University, 18 Kremlyovskaya Str., 420008, Kazan, Russian Federation*

^b *Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences, 13-1 Yaroslavskaya str., 129366, Moscow, Russian Federation*

^c *Moscow State University of Psychology and Education, 29 Sretenka Str., Moscow, 127051, Russian Federation*

^d *Kazan Innovative University named after V.G.Timiryasov, 42 Moskovskaya Str., 420111, Kazan, Russian Federation*

Abstract

The experimental results on the ability of three-dimensional perception of planar images are presented. The objective of the research was to study the direction of eye movement when viewing various types of images. It was assumed that the perception of the depth of the planar image would have an effect on the eye movements. The research task consisted in comparing the level of perception of the depth of a planar image with the characteristics of eye movement when perceiving the stereoscopic depth of the stereogram and the depth of perception of a raster 3D-image. It is shown that the plane of the perceived image is located behind it at a distance of 8-58 cm in the conditions of three-dimensional perception. It is also shown that the plane of the perceived image on the 3D-raster is located at a distance of 23–37 cm behind the raster. The histogram of the difference shows that the perception of the depth, volume of the planar image and the depth of the raster image correspond to the same dependencies. A similar shape of the histogram

was also registered with a planar perception of a stereogram. It is assumed that the histogram contour of the difference under conditions of its planar perception includes the relief effects. The presented experimental material shows that the effects of perception of the depth, the volume of a planar image, are characterized by at least one level of value with the stereoscopic depth of stereograms and 3D-raster image.

Keywords: Cognitive perception, creative thinking, volume of flat images, relief, insight.

References

- Antipov, V. N., Balandin, I. O., & Valeeva, R. R. (2010). Rel'efnost' ploskikh izobrazhenii segodnya – eto model' razvitiya zreniya cheloveka v budushchem [Relief of the planar images today is the model of development of human sight in the future]. In V. A. Barabanshchikov (Ed.), *Ekspperimental'naya psikhologiya v Rossii: traditsii i perspektivy* [Experimental psychology in Russia: Traditions and perspectives] (pp. 200–205). Moscow: Institute of Psychology of RAS. (in Russian)
- Antipov, V. N., & Yakushev, R. S. (2011). Intuitivnyi eksperimental'no-fizicheskii podkhod v obrazovatel'nom proekte po razvitiyu intellektual'nykh sposobnostei cheloveka [Intuitive experimental-physical approach in the educational project of development of human intellectual abilities]. *Obrazovatel'nye Tekhnologii i Obshchestvo*, 14(1), 400–406. (in Russian)
- Antipov, V. N., & Zhegallo, A. V. (2012). Eksperimental'noe izuchenie 3D-vospriyatiya obrazov ploskostnykh izobrazhenii [Experimental studies of 3D perception of planar images]. In V. A. Barabanshchikov (Ed.), *Ekspperimental'nyi metod v structure psikhologicheskogo znaniya* [Experimental method in the structure of psychological knowledge] (pp. 187–194). Moscow: Institute of Psychology of RAS. (in Russian)
- Antipov, V. N., & Zhegallo, A. V. (2014). Three-dimensional perception of flat images in computerized environment. *Ekspperimental'naya Psikhologiya [Experimental Psychology (Russia)]*, 7(3), 97–111. (in Russian)
- Gusev, A. N. (2007). *Oshchushchenie i vospriyatie* [Sensation and perception]. Moscow: Akademiya. (in Russian)
- Julez, B. (1960). Binocular depth perception of computer-generated patterns. *The Bell System Technical Journal*, 39, 1125–1162.
- Minzaripov, R. G., Antipov, V. N., Chitalin, N. A., Shaposhnikov, D. A., Baltina, T. V., Skobel'cina, E. G., & Yakushev, R. S. (2009). About application of three-dimensional creative-cognitive vision development method in innovative educational area. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 151(3), 266–277. (in Russian)
- Raushenbakh, B. V. (2001). *Geometriya kartiny i zritel'noe vospriyatie* [Geometry of a picture and visual perception]. Saint Petersburg: Azbuka-klassika. (in Russian)
- Schiffman, H. R. (2003). *Oshchushchenie i vospriyatie* [Sensation and perception]. Saint Petersburg: Piter. (in Russian) (Trans. of Schiffman, H. R. (2001). *Sensation and perception: An integrated approach* (5th ed.). New York: John Wiley & Sons.)
- Tyler, C. (1983). Sensory processing of binocular disparity. In C. M. Schor & K. Ciuffreda (Eds.), *Vergence eye movements: Basic and clinical aspects* (pp. 199–295). Boston: Butterworth.
- Tyler, C., & Clarke, M. (1990). The autostereogram. *Proceedings of the SPIE*, 1256, 182–197.

Valueva, E. A., & Ushakov, D. V. (2017). Insight and incubation in thinking: the role of awareness processes. *Siberian Journal of Psychology*, 63, 19–35. doi:10.17223/17267080/63/2 (in Russian)

Vladimir N. Antipov — associate professor, department of Biomedical Engineering and Innovation Management, Engineering Institute, Kazan (Volga Region) Federal University, Ph.D.

Research area: cognitive psychology, visual perception, creative thinking, intuition, intelligence, creation.

E-mail: Vladimir.Antipov@kpfu.ru

Alexander V. Zhegalo — research fellow, laboratory of Psychological Systems Studies, Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences; research associate, Center for Experimental Psychology, Moscow State University of Psychology and Education, Ph.D.

Research area: cognitive psychology, visual fixations, emotional expression, facial expression, nonverbal behavior.

E-mail: zhegs@mail.ru

Damir Z. Galimullin — associate professor, department of Information Technology and Security, Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov, Ph.D.

Research area: mathematical modeling, optics, data analysis.

E-mail: galimullin_d.z@mail.ru

Marsel G. Fazlyyakhmatov — assistant, department of Biomedical Engineering and Innovation Management, Engineering Institute, Kazan (Volga Region) Federal University.

Research area: cognitive psychology, invention, acoustics and ultrasonics, metrology.

E-mail: mfazlyjy@kpfu.ru