

**В.Н. Антипов, М.Г. Фазльяхматов**

*Казанский (Приволжский) федеральный университет (Казань, Россия)*

## **Оценочная модель условий формирования объемного зрительного восприятия плоских изображений**

*В первой части работы на уровне рассмотрения физически-физиологического строения глаз предпринята попытка построения модели объемного восприятия плоскостных изображений. Рассмотрен «алгоритм» условий формирования объемного зрительного восприятия образов на плоских изображениях. На основе предполагаемых дифракционных явлений светового потока, возникающих на экранном слое нейронов сетчатки глаз, расположенном перед фоторецепторами, показана возможность образования глубины образов плоских изображений. Во второй части рассматриваются характерные особенности движения глаз при восприятии трехмерных атрибутов различного типа плоскостных изображений. Предложен математический формализм аппроксимации объемного восприятия. Для изучения восприятия глубины и пространственной перспективы плоскостных изображений используется бинокулярный айтрекер и вычисляется разность X-координат правого и левого глаз на экране монитора айтрекера. Использование бинокулярного айтрекера позволяет получить объективную информацию восприятия трехмерных атрибутов образов плоскостных изображений и перевести диспаратность, зрительное ощущение в графический формализм.*

**Ключевые слова:** зрительная система; когнитивное зрение; бинокулярность; стереоскопичность; перспектива; движение глаз; экранный слой нейронов.

### **Введение**

Известно, что физиологически-физическими принципами действия естественно-природной зрительной системы человека являются бинокулярность и стереоскопичность. Биологи, физики и другие исследователи считают, что физическая основа восприятия глубины и объемности образов объектов окружающего мира – это формирование фокусирующими составляющими глаз двух смещенных изображений, получаемых на сетчатках [1, 2]. Ранее предполагалось, что если в поле зрения попадает плоское изображение, то оно не может иметь полноценного объемного восприятия [3. С. 120]. Отметим, что на уровне психического восприятия произведений живописи допускалась возможность «игнорировать наблюдение картины как плоского физического объекта» и воспринимать мир художника в пространственном построении, «а не как цветовой пятна на плоской поверхности» [2. С. 185]. Также исследователями показано, что при определенных условиях, например при движении плоского

изображения, возможно восприятие трехмерной структуры, т.е. объемности изображения [4].

В последние десятилетия изучению движения глаз, а также процессам зрительного восприятия объемного изображения посвящено значительное количество работ [5, 6]. Так, в работе [7] изучен процесс восприятия объема с плоского экрана при просмотре видеофильмов.

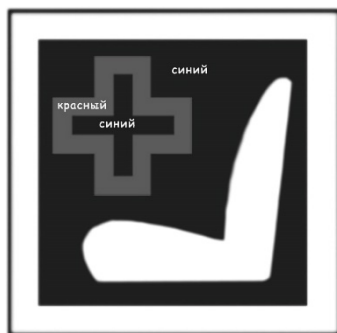
В нашей работе изучен феномен формирования объемного зрительного восприятия образов на плоских изображениях.

С 2001 г. в Казанском государственном университете проводятся исследования по развитию полноценного объемного зрительного восприятия плоских изображений, называемого далее когнитивным, образно-структурированным зрительным восприятием (КОСЗВ) [8–13]. Разработана методика обучения, техническое обеспечение которой запатентовано Казанским университетом [8, 11]. Апробация исследований в формате образовательного проекта [13] показывает, что до 90% студентов и школьников (выборка более 600 человек) обладают способностью рельефного восприятия некоторых образов физической карты мира (<http://www.karty-mira.ru>). Субъективные показатели рельефного восприятия плоских изображений, особенно по цвету образов, как мы полагаем, относятся к начальным этапам развития КОСЗВ [12]. Поэтому можно предположить, что зрительная система современной молодежи уже приобрела первичные навыки воспринимать глубину различных цветовых распределений на плоских изображениях. Более того, предполагается, что «в настоящее время мы становимся свидетелями начального этапа радикальных изменений зрительного восприятия, происходящих в результате искусственно вызванных изменений в визуальной окружающей среде» [14]. Следует отметить, что однозначного восприятия направления вектора глубины относительно друг друга, например синего, красного и белого цвета не наблюдается.

На рис. 1 показан тест – информационный плакат «медицинская аптечка» – красный и синий (в центре) кресты на синем фоне, белое кресло и белая рамка. Выборка из 51 человека показывает, что крест красного цвета воспринимают на дальнем плане относительно белого кресла 26 человек (51%). Для 21 человека (41%) красный крест воспринимается ближе, чем кресло. Не наблюдают эффектов рельефности 4 человека. Одной из возможных причин такого восприятия может быть выделение (или разделение) разных цветов на фон и образ. Иными словами, только около 8% выборки не обладают эффектами разделения по цвету образов плоских изображений. Семь человек из 20 (35%) утверждают, что при концентрации взгляда все образы на рис. 1 преобразуются в объемное изображение. Добавим, что ощущение концентрации взгляда является одной из отличительных особенностей КОСЗВ [12].

Представленные данные свидетельствуют, что у значительной части молодых людей (14–22 года) зрительная система подпадает под начальные условия развития КОСЗВ. Наличие эффекта рельефности по цветовым «пятнам» и ощущение концентрации взгляда позволяют высказать предпо-

ложение, что сначала КОСЗВ может формироваться физиологическими условиями строения глаза с последующим усилением эффекта глубины образов, структуризацией вектора направления глубины на уровне обработки информации в нейронных сетях головного мозга. Иными словами, подпадать под условия психологического развития.



**Рис. 1.** Тест на определение эффекта рельефности

Мы допускаем предположение, что современная информационно-компьютеризованная окружающая среда, разнообразие плоскостных изображений, воздействующих на зрительное восприятие, выполняют функцию «инкубации вызревания мыслительной задачи» [15]. Под мыслительной задачей понимаем процесс переноса трехмерного восприятия (объемность, глубина, пространственная перспектива) с объектов окружающего пространства на образы плоскостных изображений.

### **Методы исследований**

**Физиологически-физическая компонента.** В первой части настоящей работы на уровне рассмотрения физиологического строения глаз предпринята попытка построения оценочной модели первичных условий возникновения КОСЗВ. Остановимся на схематичном устройстве принципа действия глаза. Ограничимся хрусталиком, являющимся оптической линзой, и сетчаткой. Хрусталик фокусирует световой поток поля зрения глаз и направляет его на сетчатку. Сетчатка состоит из фоторецепторов (колбочки и палочки) и многослойной экранной структуры нервных клеток различного размера со своими соединительными отростками. В этом слое клеток производится преобразование оптической информации с фоторецепторов в электрические сигналы и их последующая передача в нейронные сети мозга. Фоторецепторы располагаются на наиболее удаленной от хрусталика стороне сетчатки. Таким образом, прежде чем попасть на фоторецепторы, свет проходит через все остальные слои сетчатки. Толщина сетчатки в средней части составляет 0,35–0,5 мм, на краях уменьшается до 0,1 мм [16. С. 27], максимальная плотность слоя колбочек сосредоточена

ближе к центральной части сетчатки. В центральной части сетчатки также имеется ямка фовеа с углублением диаметром 0,2–0,4 мм. Перед ямкой нет плотных экранных слоев клеток. Следовательно, если рассматривать один и тот же объект, но на различных участках поля зрения, то в обработке информации светового потока от него используется слой сетчатки с изменяемыми плотностью фоторецепторов и толщиной экранной структуры перед ними.

Очевидно, что если перед фоторецепторами располагается экранный слой нервных клеток, неоднородный по трем направлениям, то во всех слоях сетчатки возможно возникновение дифракции светового потока [17]. Строгое математическое описание такого явления представляет сложнейшую математическую задачу [18, 19], поэтому упростим ее до получения только принципиальных ответов на вопрос о возможной причине возникновения эффекта рельефности в зависимости от цветовой раскраски образов и некоторых особенностей КОСЗВ, представленных далее.

**Теоретическое описание.** Для теоретического описания дифракционных явлений на амплитудной прозрачной решетке используем дифракцию Фраунгофера. Она наблюдается на значительном расстоянии от отверстия или преграды. Одно из основных преимуществ использования дифракции Фраунгофера – инвариантность к положению объекта дифракции относительно плоскости регистрации.

Простейшим для расчета и практически очень важным случаем является фраунгоферова дифракция на длинной прямоугольной щели шириной  $b$ . Пусть на щель нормально падает плоская монохроматическая волна с длиной волны  $\lambda$ . Результирующее световое поле за щелью находится по принципу Гюйгенса как результат интерференции когерентных вторичных источников, исходящих из различных точек волнового фронта на щели [17. С. 293]. После вычисления интеграла и всех упрощений решение имеет вид:

$$E = b \frac{\sin \alpha}{\alpha},$$

где введено обозначение:

$$\alpha = \frac{kb \sin \theta}{\theta} = \frac{\pi b \sin \theta}{\lambda}. \quad (1)$$

Угол  $\theta$  определяет направление распространения фронта волны относительно нормали к щели. Из (1) находится распределение для интенсивности света  $I$  по направлениям:

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2,$$

где  $I_0$  – интенсивность в направлении падающей волны.

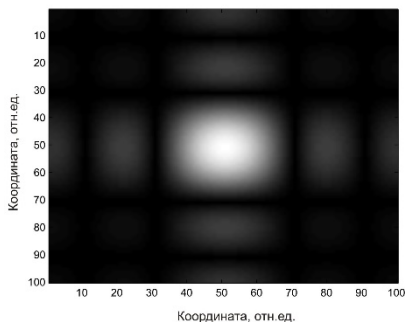
Практически можно считать, что максимумы располагаются посередине между соседними минимумами. Условие минимума  $\alpha = m\pi$  можно также записать в виде известного соотношения:

$$b \sin \theta = m\lambda. \quad (2)$$

Вывод формулы (2) основан на использовании свойств симметрии щели [17. С. 294] и применим при любых углах дифракции  $\theta$ . Вид распре-

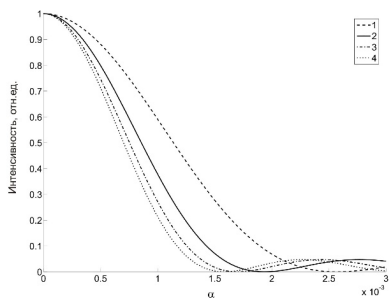
ления интенсивности при дифракции на прямоугольном отверстии, полученный с применением численного моделирования, представлен на рис. 2.

Перейдем к рассмотрению дифракции от круглого отверстия. Случай круглого отверстия на практике представляет большой интерес, так как все оправы линз и объективов имеют обычно круглую форму. При малых углах дифракции результирующее поле выражается через функцию Бесселя первого порядка  $J_1(\alpha)$ , где  $\alpha = 2\pi R\theta/\lambda$  ( $R$  – радиус отверстия,  $\theta$  – угол дифракции) [17. С. 299]. Дифракционная картина имеет вид концентрических светлых и темных колец.

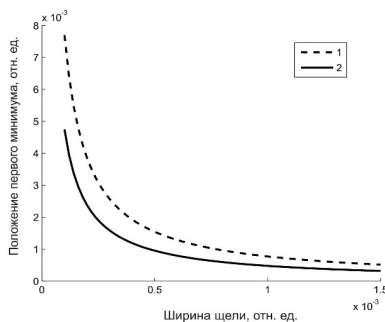


**Рис. 2.** Распределение интенсивности на экране при дифракции на прямоугольном отверстии

Распределение интенсивности по направлениям в зависимости от длины волны света представлено на рис. 3. Из соотношения (1) следует, что с увеличением длины волны наблюдаются размытие максимумов и изменение положений их центров. Также размытие наблюдается при изменении ширины щели (рис. 4).



**Рис. 3.** Распределение интенсивности по направлениям для различных длин волн:  
1 – 770 нм; 2 – 580 нм; 3 – 510 нм;  
4 – 475 нм



**Рис. 4.** Зависимость положения первого минимума от ширины щели  $b$  для различных длин волн:  
1 – 770 нм; 2 – 475 нм

Дифракцию Фраунгофера при прохождении когерентного пучка через оптическую систему с достаточно малой угловой апертурой описывает преобразование Фурье. Следовательно, дифракционную картину можно считать физической интерпретацией преобразования Фурье. Действительно, любая оптическая система с помощью когерентных волн кроме изображения объекта, определяемого законами геометрической оптики, ставит ему в соответствие двумерный Фурье-образ на плоскости, определяемый законами дифракции. Знание основных свойств преобразования Фурье позволяет значительно упростить анализ закономерностей пространственного спектра и построить практически любую дифракционную картину [18. С. 37].

Существенное значение имеет свойство симметрии, являющееся одним из фундаментальных свойств дифракционных спектров. Наличие дополнительной симметрии в форме отверстия приводит к появлению соответствующей дополнительной симметрии и в картинах дифракции Фраунгофера (рис. 5, 6).

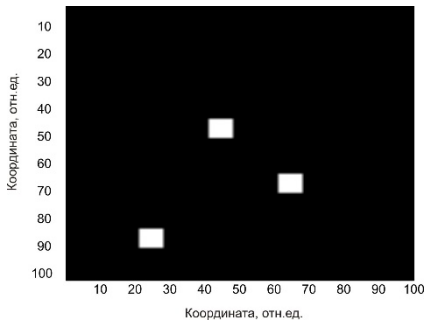


Рис. 5. Система квадратных отверстий

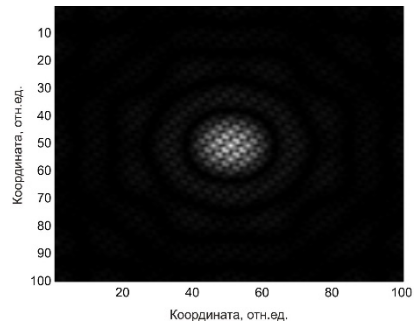


Рис. 6. Преобразование Фурье от системы квадратных отверстий

Приведенные упрощенные теоретические выкладки и численное моделирование по ним позволяют использовать их для объяснения дифракционных явлений объектов окружающей среды и наблюдаемых КОСЗВ особенностей объемного восприятия плоских образов в зависимости от цвета (т.е. длины волны) и от сеточного размера объектов.

### Полученные результаты

Когнитивная образно-структурированная зрительная система развивается в результате взаимодействия человека с изображениями, полученными с применением современных компьютерных технологий, и наблюдения объектов в среде обитания [8–12]. Предполагается, что восприятие стереоскопической глубины в обучающих стереоскопических проекциях (ОСП) при осуществлении режима их наложения затем преобразуется в объемное восприятие образов любых плоских изображений. При этом про-

исходит объединенное восприятие с учетом опыта построения глубины на пространственных объектах окружающей среды. Поэтому используем явления (возможно, дифракционные), наблюдаемые в окружающей обстановке. Выбор примеров из окружающей среды обусловлен тем, что необходимо применять образы, которые реально видит зрительная система любого человека.

**Пример 1.** Свет включенных фар машин, прошедший через прозрачную занавеску (рис. 7).



**Рис. 7.** Пример изображения света фар движущейся машины, наблюдаемого через прозрачную занавеску

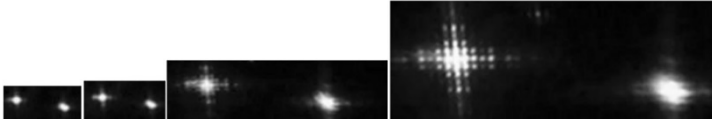
Внешний вид условий съемки показан на верхнем кадре. Съемка фонарей машин велась при настройке фотоаппарата от самых удаленных левых частей кадра до их исчезновения в правом участке поля зрения объектива.

Имеются условия четкой картины света фар – это наиболее удаленные расстояния от занавески и фотоаппарата. Они расположены на левых кадрах. Свет каждой фары создает распределение по одному пятну по горизонтали и вертикали, справа и слева от центра. Всего наблюдается пять изображений фонаря. По мере приближения машины распределение изменится и преобразуется в одиночное размытое изображение фонаря.

Влияние плотности занавески на ее складках выражается в повышении резкости одного из двух изображений фонарей (четвертый снимок слева на первом верхнем ряду кадров). Складки хорошо видны на панораме места съемки. Если они становятся плотными (т.е. имеют черный цвет), как на правой части кадра, то свет от фонаря не проходит через них. В том случае, если уплотнение незначительное, структура распределения света фар может изменяться. Их становится семь, как на пятом слева кадре нижнего ряда. Уплотнение занавески приводит к тому, что она уже не является условно плоской, а образует объемную структуру. Фактически приведенные распределения света фар – это повторение структуры занавески, но в увеличенном масштабе.

Если внимательно посмотреть на столбы, стоящие вдоль дороги, то видно, что они группируются по три.

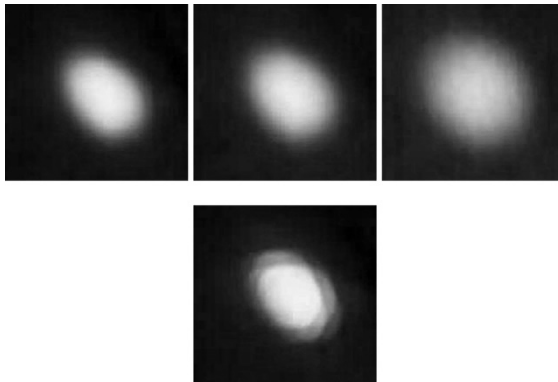
**Пример 2.** Второй пример показывает изменение изображения от света уличных фонарей (рис. 8). Прозрачная занавеска расположена перед фотоаппаратом. Съемка проводится при оптическом увеличении объектива фотоаппарата.



**Рис. 8.** Пример изображения света уличных фонарей на прозрачной занавеске при оптическом увеличении объектов фотосъемки

Ночное время, два фонаря, находящихся на различных расстояниях друг от друга. Левый кадр – минимальное увеличение, правый – максимальное. На крайнем правом кадре наблюдается четкая картина по вертикальному и горизонтальному направлениям. Фотоаппарат настроен на левый фонарь, который расположен дальше. Правый фонарь в таких условиях не имеет четкой картины, а только размытый вид.

**Пример 3.** Фотосъемка Луны через прозрачную занавеску, расположенную перед фотоаппаратом (рис. 9). Съемка проводится с изменением увеличения объекта. Когда увеличение максимальное, фотоаппарат начинает автоматически настраиваться, и изображение Луны выглядит от расплывчатого пятна до образования резких границ Луны (нижнее изображение). По нижнему кадру можно увидеть, что имеется сдвиг изображения вправо и влево, вниз и вверх. Отметим, что размер ячейки занавески значительно меньше, чем размер изображения Луны.



**Рис. 9.** Фотографии Луны при съемке через прозрачную занавеску

Расчетная часть показывает, что приведенные примеры относятся к дифракционным явлениям реальных объектов в окружающей среде на прозрачной решетке (занавеска). Возможно, они иллюстрируют Фурье-



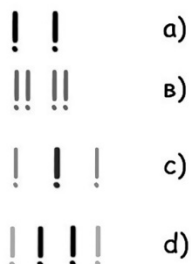
преобразование светового потока прозрачной занавеской как аналогом амплитудной прозрачной решетки.

В общем случае дифракция зависит от соотношения размеров объекта и ячеек прозрачной решетки и наблюдается не только на источнике света, но и на отраженных световых потоках (пример 1, изображение столбов). Можно подобрать условия размера изображения объекта на периодике прозрачной решетки, когда наблюдается четкое двоение объектов по двум взаимно перпендикулярным направлениям. По дифракционной картине можно предполагать архитектуру строения дифракционной решетки.

### **Характерные особенности КОСЗВ**

Применим методологию расчетов для моделирования реально наблюдаемых явлений к зрительной системе с объемным восприятием плоских изображений [12] (зрение близорукое  $-4D$ , наблюдение ведется без коррекции).

Рассмотрим простейшее изображение, которое можно выполнить на экране монитора компьютера или на обычном листе бумаги. Выберем word, два восклицательных знака, шрифт размером 16 pt, построим четыре ряда символов. На рис. 10 показаны варианты построения символов, набранные в программе Adobe Photoshop. Именно так для когнитивного зрения происходит изменение восприятия двух восклицательных знаков по мере их удаления от глаз.

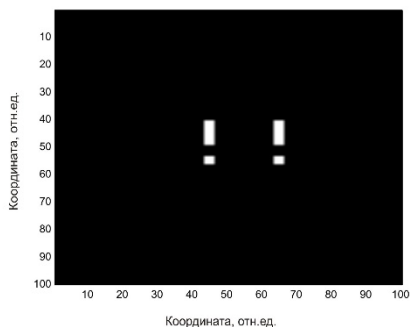


**Рис. 10.** Варианты изменения КОСЗВ двух восклицательных знаков по мере их удаления от глаз когнитивной зрительной системы

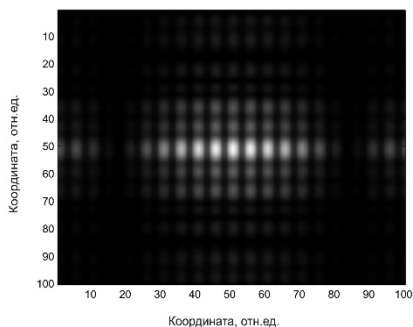
На расстоянии 25 см от глаз изображений два, и они резкие (рис. 10, *a*). По мере удаления знаков от глаз происходит двоение каждого знака и изменяется их интенсивность (рис. 10, *b*). На расстоянии  $\sim 40$  см происходит слияние средних изображений (рис. 10, *c*). Изображений знаков становится три, среднее имеет наибольшую плотность, соизмеримую с интенсивностью первичных символов. На расстоянии 60 см – изображений четыре (рис. 10, *d*). На расстоянии приблизительно 80 см изображения размываются, на фоне листа их не видно. Данный пример доступен любому человеку

с близоруким зрением. В зависимости от качества зрения будут меняться расстояния, но тенденция сохранится.

На рис. 11 показано численное моделирование аналогичных символов текстового редактора. На рис. 12 – дифракционная картина от них. Моделирование проведено с применением упрощенных формул, приведенных выше.



**Рис. 11.** Протяженные символы текстового редактора



**Рис. 12.** Результаты дифракционной картины численного моделирования символов

Приведем еще один наблюдаемый эффект КОСЗВ двух источников света (светодиоды) диаметром 2–3 мм. Светодиоды красного и зеленого цветов. На расстоянии 25–30 см границы от них резкие и они одного размера. По мере удаления от них сначала происходят размытие границ и изменение восприятия размера источников различных цветов. Далее вместо одного их становится больше (пять-шесть), и они распределены по окружности. Затем происходит их преобразование в одиночные размытые пятна различного диаметра. Аналогичное изменение восприятия каждого источника можно представить по нижнему ряду рис. 7.

### **Обсуждение результатов физиологически-физической компоненты**

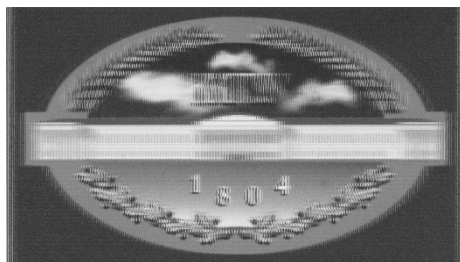
Перед началом обсуждения приведем пример технического решения формирования глубины на растровых объемных изображениях (<http://www.master-3d.com>). Известно, что построение глубины изображения для цилиндрических пластиковых растровых линз задается величиной смещения образов. Например, для изображения эмблемы Казанского университета (рис. 13) в растровом исполнении, чтобы белая надпись «КГУ» воспринималась ближе всех (как бы парила над остальными образами), величина смещения должна быть максимальной. На рис. 14 приведено изображение эмблемы после применения обработки различных слоев с помощью специального программного обеспечения.

Таким образом, техническое решение получения построения глубины на пластиковых линзах (растрах) основано на величине смещения образов и применении периодики растровых линз.

Сравнение численного моделирования дифракционной картины (рис. 12) с реально наблюдаемым распределением (рис. 10, *c, d*) для когнитивной зрительной системы позволяет предположить влияние дифракционных явлений в экранном слое нейронов сетчатки на формирование объемного восприятия образов плоских изображений. Добавим, что примеры, показанные на рис. 7–9, наблюдаются и для КОСЗВ при рассматривании плоских изображений.



**Рис. 13.** Эмблема  
Казанского университета



**Рис. 14.** Эмблема перед склейкой  
с цилиндрическими пластиковыми линзами

Вторым фактором, подтверждающим возможность влияния дифракционных явлений на экранном слое нейронов, расположенных перед фоторецепторами, является наблюдаемая для КОСЗВ зависимость креативной глубины плоских образов от их цвета (или длины волны светового потока) [12]. На рис. 3, 4 показаны расчетные распределения интенсивности и дифракционных максимумов от длины волны. Следовательно, если для КОСЗВ формируется дифракционное распределение, то возможно образование на слое фоторецепторов смещенных изображений, в том числе и по глубине, величина смещения зависит от длины волны.

Допустим, в поле зрения глаз попадает плоское изображение с образами различного цвета. Тогда в результате прохождения светового потока через экранный слой клеток возможно образование на фоторецепторах сетчатки дифракционного изображения, резкость образов которого будет зависеть от цвета. И если механизмом распознавания глубины и объемности является четкость образа на фоторецепторах, то любое плоское изображение приобретает образы с различной глубиной относительно друг друга. Иными словами, отраженный свет от реального плоского изображения, пройдя экранный слой нейронов, преобразуется в объемное дифракционное распределение, с которого фоторецепторы «снимают» информацию. Кроме того, дифракционное распределение светового потока от плоских образов будет зависеть от соотношения их размеров и размеров ячеек «решетки» экранного слоя нейронов. Аналогичная зависимость для реальных природных объектов показана на рис. 7–9. Действительно, для объем-

ного восприятия когнитивной зрительной системы наилучшие эффекты креативной глубины зависят от размеров наблюдаемых образов в поле зрения, расстояния между образами.

Экранный слой нейронов сетчатки представляет собой неравномерную по толщине объемную, возможно, амплитудно-фазовую прозрачную решетку. Поэтому в зависимости от того, в какую часть поля зрения попадает одно и то же изображение, дифракционная картина и, следовательно, восприятие глубины (и объемности) образов относительно друг друга могут изменяться. Возможно возникновение зависимости глубины плоских образов, даже одного цвета, от всех тех условий, о которых упоминается в работах [8, 11, 12]. В упрощенном приближении: сначала экранный слой нейронов сетчатки формирует объемную дифракционную картину (как смещение на рис. 14), далее информация кодируется и преобразуется в нейронных сетях головного мозга в объемные ощущения плоских образов. Причем именно размерность трехмерной дифракционной картины в экранном слое нейронов сетчатки является тем физическим фактором, который далее преобразуется в нейронных сетях головного мозга в объемное восприятие образов плоских изображений. Аналог такого предположения технически реализован в получении объемных изображений с применением цилиндрических пластиковых линз (растров). В растровой технологии сначала программным методом «готовятся» изображения в виде узких вертикальных полос, далее они соединяются с пластиной цилиндрических линз, образуя объемное изображение.

Отметим, что когда осуществляются режим наложения и наблюдение стереоскопической глубины ОСП, то используются две или более идентично-подобные структуры (ИПС) [8, 11, 13]. Режим наложения осуществляется при концентрации взгляда вне плоскости расположения ОСП. Происходит сначала двоение ИПС, а затем как бы слияние смежных образов и образование стереоскопической глубины. Такое слияние происходит в одной области нейронов сетчатки и далее, возможно, в одной общей структуре нейронных сетей головного мозга. В горизонтальном ряду общее количество ИПС становится на одну больше. Допустим, используются две идентичные структуры, как на рис. 10, *a*. Тогда, изменяя местоположение концентрации взгляда при увеличении расстояния от ОСП, происходит сначала двоение (рис. 10, *b*), далее слияние смежных образов (рис. 10, *c*) и затем вновь двоение (рис. 10, *d*). Следовательно, наблюдаемые сегодня особенности КОСЗВ постоянно присутствовали в «технологии» условий наложения ОСП. Добавим, что режим наложения можно осуществлять при концентрации взгляда «до» или «за» плоскостью расположения ОСП. Два условия концентрации взгляда создают инверсию направления вектора стереоскопической глубины ИПС относительно друг друга.

**Эффект рельефности и неоднозначности восприятия глубины образов различного цвета относительно друг друга.** Возможно, что структуризация местоположения одних цветовых распределений относительно других может происходить в результате опыта наблюдения стерео-

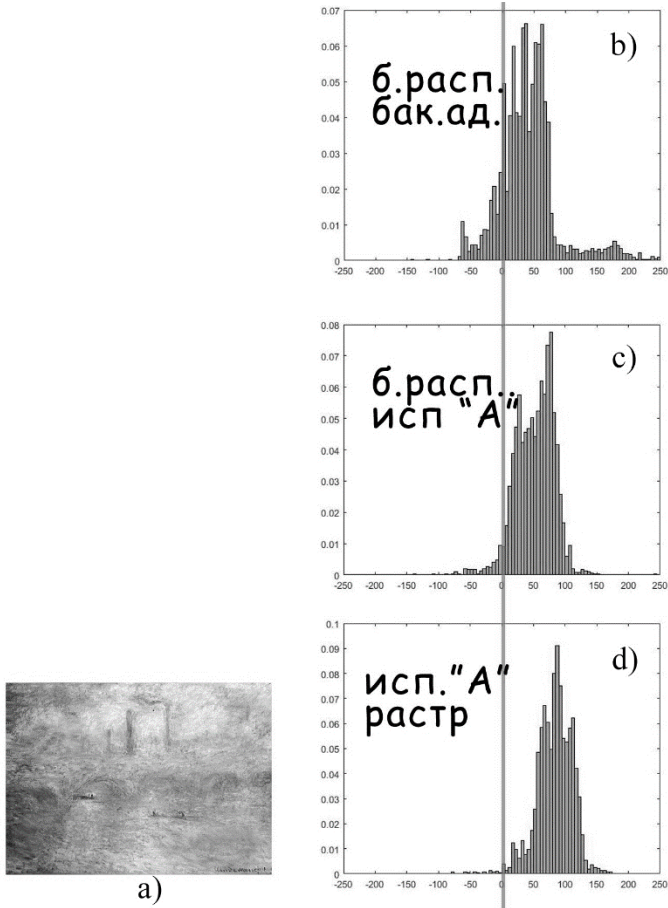
скопической глубины ОСП. Для некоторых произведений живописи такая закономерность выполняется. В общем же случае, если в поле зрения попадают плоские образы различного цвета, не имеющие ранее опыта восприятия пространственного построения, то и не возникает единообразия их местоположения и направления вектора глубины относительно друг друга. Например, как для выборки из 51 человека по восприятию рис. 1.

Дополним приведенные примеры рассмотрением возможности влияния дифракционных эффектов в эксперименте, проведенном при изучении КОСЗВ методом окуломоторной активности [20]. Ниже представленные исследования проводились с применением портативного бинокулярного айтрекера «TheEyeTribe» (частота регистрации 60 Гц). Прибор позволяет регистрировать X-координаты направления взгляда правого ( $X_R$ ) и левого ( $X_L$ ) глаз при демонстрации на экране айтрекера исследуемых изображений. При ОСЗВ на мониторе айтрекера формируются условия  $X_L \neq X_R$  [21]. Тем самым реализуются условия  $\Delta X = X_L - X_R \neq 0$ . Набор значений  $\Delta X(t)$  за интервал времени  $\Delta t$  образует контур (гистограмма разности, представляющая собой распределение плотности вероятности экспериментальных фиксаций наборов значений  $\Delta X$ ).

На рис. 15 приведен стимульный материал и контуры гистограмм разности при восприятии этого изображения. На рис. 15, *b* дана гистограмма разности  $\Delta X$  при восприятии изображения одним из бакалавров, на рис. 15, *c* – гистограмма испытуемого «А», на рис. 15, *d* – гистограмма испытуемого «А» при восприятии растрового изображения 15, *a*. По горизонтальной шкале даны величины  $\Delta X$ , по вертикальной оси – относительные значения числа наблюдаемых интервалов  $\Delta X$ .

Местоположение контура гистограммы разности в области положительных значений  $\Delta X$  показывает, что ощущение глубины изображений располагается за экраном монитора айтрекера.

Характерной особенностью приведенных гистограмм является то, что нижняя (рис. 15, *d*) получена при восприятии глубины растрового изображения. Напомним, что глубина растрового изображения образуется при совмещении условий подготовки изображения по слоям глубины с применением программного обеспечения, получении бумажной распечатки и последующего соединения бумажной распечатки с пластиной цилиндрических линз. Естественно, с соблюдением всех требуемых технологических элементов. Две другие гистограммы получены при восприятии без условия соединения бумажной распечатки с пластиной линз. Иными словами, нет необходимого «инструмента» (набора цилиндрических линз) формирования глубины, а глубина наблюдается. Причем не только для испытуемого «А», но и для одного из участников эксперимента. По высказываниям («бак.ад.»), она все плоскостные изображения воспринимает с эффектами глубины и объема. Что касается испытуемого «А», то его результаты – развитие восприятия пространственных атрибутов и изучение этой способности с применением айтрекера – излагаются в работе [20].



**Рис. 15.** Стимульное изображение (а) и гистограммы разности: *b* – испытуемый «бак.ад.», восприятие бумажной распечатки стимульного изображения; *c* – испытуемый «А», восприятие бумажной распечатки стимульного изображения; *d* – испытуемый «А», восприятие растрового изображения

**О достоверности когнитивного, образно-структурированного зрительного восприятия и основы построения математически-графических ощущений восприятия трехмерных атрибутов**

Ранее в работе [20] было показано применение стационарного бинокулярного айтрекера при изучении моторики движения глаз в условиях наблюдения КОСЗВ, восприятия глубины растровых изображений и стереоскопической глубины ОСП (ИПС). Общей особенностью всех перечисленных изображений (для «А») является фокусировка глаз вне их плоскости расположения. Иными словами, на мониторе айтрекера регистрируется бинокулярная диспаратность, а  $\Delta X = |X_R - X_L| \neq 0$ .

Бинокулярная диспаратность записи X-координат одного из рассматриваемых «пилотных» плоскостных изображений показана на рис. 16.

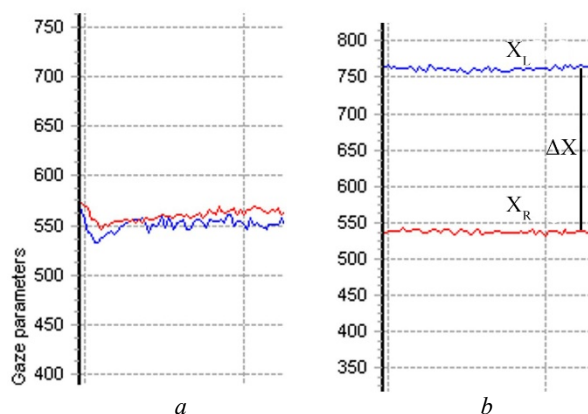


Рис. 16. X-координаты правого ( $X_R$ ) и левого ( $X_L$ ) глаз:  
*a* – в начале записи; *b* – в условиях наблюдения состояния КОСЗВ

По горизонтальной шкале откладывается время записи, по вертикальной – X-координаты показаний айтрекера. В начале эксперимента (рис. 16, *a*) координаты левого и правого глаз располагаются в одном интервале значений X. Иными словами, фокусировка направления взора происходит в одной области изображения. Далее при возникновении восприятия глубины фокусировка глаз осуществляется вне плоскости изображения, и айтрекер регистрирует условие  $\Delta X \neq 0$  (рис. 16, *b*).

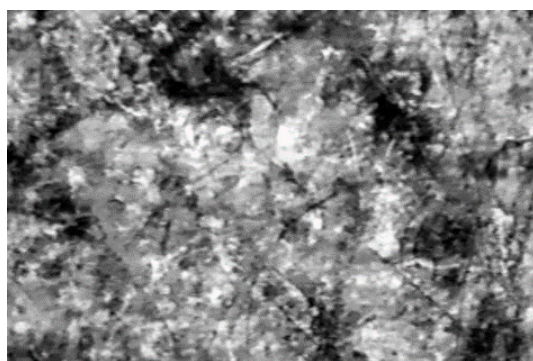
Первые эксперименты на стационарном бинокулярном айтрекере (на одном испытуемом «А») были проведены в Центре экспериментальной психологии (ЦЭП) Московского городского психолого-педагогического университета и опубликованы в работах [20–22]. Регистрация движений глаз выполнялась с помощью айтрекера SMI HiSpeed в бинокулярном режиме (частота регистрации 500 Гц). Важным результатом следует считать, что восприятие глубины КОСЗВ и растровой глубины для «А» происходило за плоскостью расположения рассматриваемых изображений. Подробная информация развития КОСЗВ и первых исследований его изучения представлена в работе [20]. Заметим, что результаты исследований, проведенные в ЦЭП, в книге [23] отмечены в разделе «Панорама новейших исследований окуломоторной активности».

По числовым массивам записей X-координат, регистрируемых на бинокулярном айтрекере, вычислялась разность  $\Delta X$  и строились гистограммы разности.

Ниже показываем некоторые результаты регистрации показаний X-координат, полученных на портативном айтрекере TheEyeTribe с частотой регистрации 60 Гц (предоставлен сотрудниками ЦЭП). В экспериментах участвовали 80 человек в возрасте 16–20 лет (из них 30 мужчин). Ме-

тодика проведения экспериментов разрабатывалась совместно с ЦЭП МГППУ. Работа продолжает изучение КОСЗВ с применением методики движения глаз и дополняет его статистическими результатами. Оговоримся, что испытуемый «А» приобрел восприятие трехмерных атрибутов плоскостных изображений в результате длительного тренинга [20]. Участники же экспериментов на портативном айтрекере – это обычные студенты, обучающиеся в КФУ. Проведенная регистрация движения глаз участников экспериментальных серий сравнивалась с показаниями испытуемого «А».

Схема проведения исследований была следующей. На экран монитора ноутбука выводились изображения, на которых испытуемый «А» воспринимал глубину и объемность образов. Для сравнения условий эксперимента некоторые из изображений применялись в исследованиях на айтрекере в ЦЭП. Например, представленный на рис. 17 фрагмент картины Д. Поллока «Лавандовый туман».



**Рис. 17.** Фрагмент картины Д. Поллока «Лавандовый туман»

Положительные величины  $\Delta X$  характеризуют восприятие глубины за плоскостью экрана монитора ноутбука. Отрицательные значения показывают, что глубина воспринимается между глазами и экраном. Местоположение контуров гистограмм разности рис. 17 показывает, что восприятие глубины осуществляется за экраном монитора ноутбука как для испытуемого «А», так и для одного из магистров «М1» (рис. 18). Рис. 18 подтверждает, во-первых, возможность применения портативного айтрекера для изучения КОСЗВ, во-вторых, общие и характерные особенности КОСЗВ как для «А», так и для большинства испытуемых. Для достоверности восприятия глубины КОСЗВ применялись 3D-растровые изображения. Например, на рис. 19 показано восприятие глубины КОСЗВ магистром «М2» изображения фрагмента картины «Лавандовый туман» (см. рис. 17) – верхний рисунок, а также восприятие глубины растра – нижний рисунок. Сравнение гистограмм рис. 19 доказывает, что движение глаз в условиях КОСЗВ совпадает с движениями глаз при восприятии глубины растрового изображения.



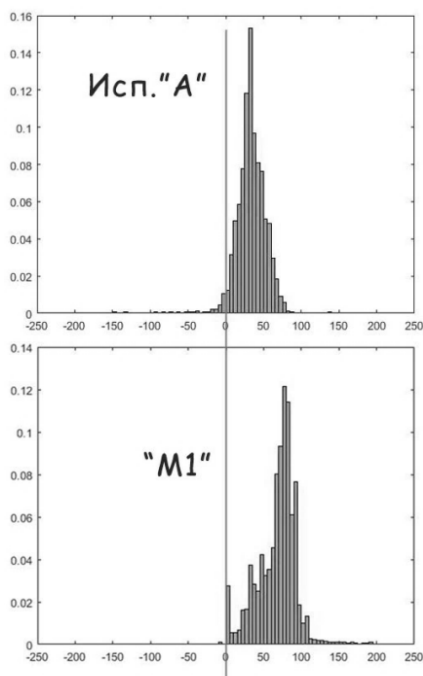


Рис. 18. Гистограммы разности для двух испытуемых

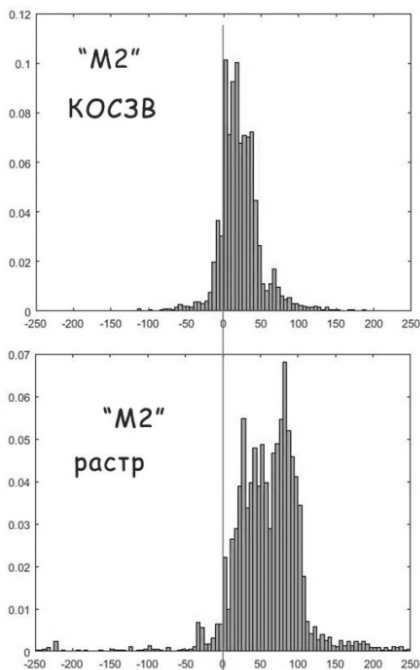


Рис. 19. Гистограммы одного испытуемого «М2» при условии КОСЗВ и глубины растра

Ширина контура гистограммы разности характеризует диапазон глубины, в пределах которого наблюдается глубина.

В одной из серий экспериментов получено, что подавляющее большинство испытуемых воспринимают монокулярную перспективу пространства пилотного изображения (рис. 20) как трехмерную структуру. На рис. 21 приводятся гистограммы для испытуемого «А» и одного из бакалавров («Бак1»). По гистограммам следует сделать вывод, что перспектива пространства воспринимается за плоскостью монитора компьютера.

Обобщим понятие математического формализма восприятия плоскостных изображений. Его главная особенность – получение информации о координатах движений глаз при рассмотривании пилотных изображений. Далее на полученных массивах X-координат проводятся построение гистограмм разности  $\Delta X$  и определение местоположение воспринимаемых образов относительно экрана монитора компьютера. Достоверность восприятия пространственных элементов проверяется по регистрации гистограмм разности 3D-растровых изображений. Иными словами, графически-математический формализм переводит субъективные ощущения восприятия про-

странства плоскостных изображений в анализируемые представления графического формализма.



Рис. 20. Изображение с монокулярной перспективой образов

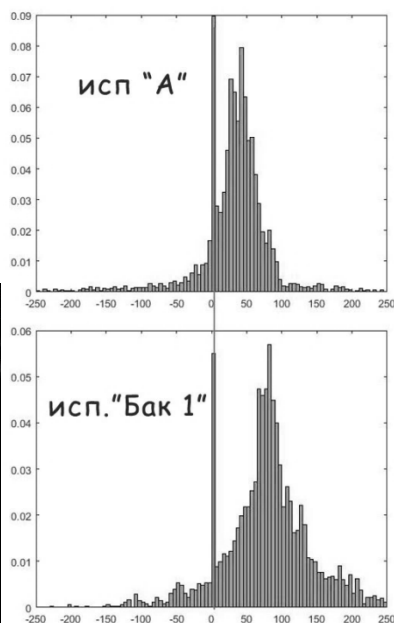


Рис. 21. Гистограммы испытуемого «А» и одного из бакалавров «Бак1»

### Заключение

Представленный материал показывает, что в первом приближении одной из причин формирования объемного восприятия образов плоских изображений [8–12] могут быть дифракционные явления на экранном слое нейронов, расположенном перед фоторецепторами сетчатки глаз. Следовательно, существуют физиологические условия, описываемые известными физическими законами. Однако они не могут обеспечить построения всех возможных феноменов глубины, наблюдаемых КОСЗВ [11]. Иными словами, для формирования полноценного объемного восприятия плоских изображений и удаленных объектов необходимо когнитивное (или психическое) «подключение» ранее полученного опыта наблюдения стереоскопической глубины ОСП и глубины в расположении объектов окружающей среды. Возможно, получение объемного ощущения от образов плоского изображения (как зрительного стимула) и есть результат интегрированных друг в друга восходящих и нисходящих потоков электрических импульсов в нейронных сетях головного мозга. Для формирования результата опознавания от любого зрительного стимула такая модель рассматривается физиологами в работе [24]. Нисходящие потоки являются следствием уровней деятельности сознания, которые и возникают в процессе обучения, т.е.

опыта наблюдения стереоскопической глубины ОСП. Восходящие потоки формируются на основе физиологически-физических принципов действия зрительной системы от наблюдаемого зрительного стимула [1, 2].

Представленные выборочные исследования движения глаз для 80 респондентов подтверждают ранее полученные для одного респондента результаты [20]. Более того, получены новые данные, иллюстрирующие различные условия восприятия респондентами трехмерных атрибутов образов плоскостных изображений. Однако пространственную перспективу за плоскостью расположения монитора компьютера (для некоторых изображений – рис. 20) воспринимают более 95% испытуемых. Важным результатом проведенной работы на портативном айтрекере следует считать разработку математически-графического метода анализа восприятия пространственных атрибутов образов плоскостных изображений. Результаты анализа восприятия всех 80 испытуемых предполагается представить в последующей публикации.

В перспективе предполагается сначала расширить выборку изображений с пространственным построением сюжетов, затем идентифицировать структуру гистограмм разности и «связать» ее с местоположением составляющих пространственных элементов изображений.

### **Благодарности**

Авторы и выражают благодарность старшему научному сотруднику ЦЭП МГППУ, Института психологии РАН А.В. Жегалло за предоставленное экспериментальное оборудование (портативный айтрекер TheEyeTribe) и ценные замечания при обсуждении полученных экспериментальных результатов.

### **Литература**

1. Основы сенсорной физиологии / под ред. Р. Шмидта ; пер. с англ. Г.И. Рожковой. М. : Мир, 1984. 287 с.
2. Грегори Р.Л. Глаз и мозг: Психология зрительного восприятия. М. : Прогресс, 1970. 280 с.
3. Раушенбах Б.В. Геометрия картины и зрительное восприятие. СПб. : Азбука-классика, 2001. 320 с.
4. Ringach D.L., Hawken M.J., Shapley R. Binocular Eye Movements Caused by the Perception of Three-Dimensional Structure from Motion // *Vision Research*. 1996. Vol. 36, № 10. P. 1479–1492.
5. Schütz A.C., Braun D.I., Gegenfurtner K.R. Eye Movements and Perception: A Selective Review // *Journal of Vision*. 2011. Vol. 11, № 5 (9). P. 1–30.
6. Kowler E. Eye Movements: The Past 25 Years // *Vision Research*. 2011. Vol. 51, № 13. P. 1457–1483.
7. Iijima A., Komagata S., Kiryu T. et al. Vergence Eye Movements Signifying 3D Depth Perception from 2D Movies // *Displays*. 2012. Vol. 33, № 2. P. 91–97.
8. Антипов В.Н. Пат. 2264299 RU. Способ формирования трехмерных изображений (варианты). Приоритет 03.02.2003. Опубл. 20.11.05. Бюл. № 32.

9. Антипов В.Н., Галимуллин Д.З., Антипов А.В. Некоторые принципы построения архитектуры нейронной сети нелинейного зрительного восприятия // 3 International interdisciplinary scientific conference (NBATT-21) : сб. тезисов. Петрозаводск : Петрозавод. гос. ун-т, 2004. С. 31.
10. Антипов В.Н., Галимуллин Д.З. О некоторых принципах построения архитектуры математической модели нелинейного зрительного восприятия естественно-природной нейронной сети человека // Когерентная оптика и оптическая спектроскопия. Казань, 2004. Вып. 8. С. 145–152.
11. Антипов В.Н. Пат. 2318477 RU. Способ развития зрительной системы человека. Приоритет 22.08.2005. Оpubл. 10.03.2008. Бюл. № 7.
12. Антипов В.Н., Балтина Т.В., Якушев Р.С., Антипов А.В. Когнитивный контроль зрительного восприятия современного человека как объект изучения биоэкологии // Ученые записки Казанского университета. Сер. Естест. науки. 2008. Т. 150, кн. 3. С. 145–151.
13. Минзарипов Р.Г., Антипов В.Н., Читалин Н.А. и др. О применении методики развития объемного креативно-когнитивного зрения в инновационном образовательном пространстве // Ученые записки Казанского университета. Сер. Естественные науки. 2009. Т. 151, кн. 3. С. 266–277.
14. Антипов В.Н., Жегалло А.В. Восприятие объема в техногенной среде // Эволюционная и сравнительная психология в России: традиции и перспективы / под ред. А.Н. Харитоновой. М. : Ин-т психологии РАН, 2013. С. 333–336.
15. Валуева Е.А., Ушаков Д.В. Инсайт и инкубация в мышлении: роль процессов осознания // Сибирский психологический журнал. 2017. № 63. С. 19–35.
16. Рожкова Г.И., Матвеев С.Г. Зрение детей: проблемы оценки и функциональной коррекции. М. : Наука, 2007. 315 с.
17. Сивухин Д.В. Общий курс физики : учеб. пособие для вузов : в 5 т. М. : Физматлит, 2005. Т. IV: Оптика. 3-е изд., стр. 751 с.
18. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях / под ред. Н.Г. Волкова ; пер. с франц. Ю.В. Пяткова, Г.М. Горбаченко, С.Д. Чигиря. М. : Мир, 1983. Т. 1. 311 с.
19. Darbinyan S.P., Petrashen' P.V., Chukhovskii F.N. Possibility of solving the inverse problem of diffractive scattering with dynamic effects // JETP Letters. 1992. Vol. 55, № 11. P. 642–644.
20. Антипов В.Н., Жегалло А.В. Трехмерное восприятие плоскостных изображений в условиях компьютеризированной среды обитания // Экспериментальная психология. 2014. Т. 7, № 3. С. 97–111.
21. Антипов В.Н., Вахрамеева О.А., Галимуллин Д.З., Жегалло А.В., Хараузов А.К., Шелепин Ю.Е. Экспериментальное изучение 3D-восприятия образов плоскостных изображений // Экспериментальный метод в структуре психологического знания / отв. ред. В.А. Барабанщиков. М. : Ин-т психологии РАН, 2012. С. 187–194.
22. Антипов В.Н., Жегалло А.В. О возможности тестирования технологии обучения по 3D-восприятию плоских изображений // Образование и саморазвитие. 2011. № 3 (25). С. 163–169.
23. Барабанщиков В.А., Жегалло А.В. Регистрация и анализ направленности взора человека. М. : Ин-т психологии РАН, 2013. 316 с.
24. Костандов Э.А. Психофизиология когнитивного контроля зрительного восприятия // XX съезд Физиологического общества им. И.П. Павлова : тезисы докладов. М. : Русский врач, 2007. С. 5.

**Сведения об авторах:**

**АНТИПОВ Владимир Николаевич**, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии и управления инновациями Инженерного института Казанского (Приволжского) федерального университета (Казань, Россия). E-mail: Vladimir.Antipov@kpfu.ru

**ФАЗЛЫЙЯХМАТОВ Марсель Галимзянович**, ассистент кафедры биомедицинской инженерии и управления инновациями Инженерного института Казанского (Приволжского) федерального университета (Казань, Россия). E-mail: mfazlyjy@kpfu.ru

*Поступила в редакцию 07.07.2017 г.; повторно 14.12.2017 г.; принята 21.01.2018 г.*

**EVALUATING MODEL OF CONDITIONS FOR FORMING VOLUMETRIC VISUAL PERCEPTION OF FLAT IMAGES**

*Siberian journal of psychology*, 2018, 67, 149–171. DOI: 10.17223/17267080/67/11

**Antipov Vladimir N.**, Kazan (Volga Region) Federal University (Kazan, Russian Federation). E-mail: Vladimir.Antipov@kpfu.ru

**Fazlyyyakhmatov Marsel G.**, Kazan (Volga Region) Federal University (Kazan, Russian Federation). E-mail: mfazlyjy@kpfu.ru

**Keywords:** visual system; cognitive vision; binocularity; stereopsis; perspective; eye movement; screen layer of neurons.

In this paper we consider an algorithm of conditions under which the volumetric perception of flat images is formed. A training technique was developed, which was patented by Kazan University. The approbation of the studies in the format of an educational project shows that up to 90% of students and schoolchildren (a sample of more than 600 people) have the ability to relief perception of some 2D images. We believe that the relief perception of flat images, especially by color of the images, refers to the initial stages of development of cognitive and image-structured visual perception. Therefore, it can be assumed that the visual system of modern youth has already acquired primary skills to perceive the depth of various color distributions on flat images.

In the research we attempted to construct an evaluation model of the primary conditions for cognitive and image-structured visual perception. The model is based on the consideration of the physiological structure of an eye.

It is assumed that the perception of stereoscopic depth in the training stereoscopic projections, with the implementation of superposition mode, is then transformed into a volumetric perception of any flat images. In this case, there is a combined perception taking into account the experience of the construction of depth on the spatial objects of the environment. Therefore, we use phenomena (perhaps diffractions), which are observed in the surrounding environment.

Comparison of the diffraction pattern of numerical calculations with the observed distribution for the cognitive visual system allows to assume the influence of diffraction phenomena in the screen layer of the retinal neurons on the formation of the volumetric perception of flat images.

The second condition that confirms the possibility of the effect of the diffraction phenomena on the screen layer of neurons located in front of the photoreceptors is the dependence of the creative depth of flat images on their color (or the wavelength of the light flux) observed for cognitive and image-structured visual perception.

The presented material shows that, at first sight, one of the reasons for the formation of volumetric perception of flat images could be diffraction phenomena on the screen layer of neurons located in front of the retina photoreceptors. Consequently, there are physiological conditions described by the known physical laws. However, they can not ensure the construction of all possible phenomena of depth observed by cognitive and image-structured visual perception. In other words, to form a full-scale volumetric perception of flat images and dis-

tant objects, it is necessary to consider a “cognitive (or mental) connection” of the previously obtained experiences of observing the stereoscopic depth of training stereoscopic projections and depth in the location of environmental objects. Perhaps, obtaining a volumetric sensation from flat images (as a visual stimulus) is the result of the integrated, ascending and descending fluxes of electrical impulses in neural networks of the brain.

### *References*

1. Schmidt, R. (1984) *Osnovy sensornoy fiziologii* [Fundamentals of Sensory Physiology]. Translated from English by G.I. Rozhkova. Moscow: Mir.
2. Gregory, R.L. (1970) *Glaz i mozg: Psikhologiya zritel'nogo vospriyatiya* [Eye and brain: Psychology of visual perception]. Translated from English by E. Khomskaya. Moscow: Progress.
3. Rauschenbach, B.V. (2001) *Geometriya kartiny i zritel'noe vospriyatie* [Geometry of the picture and visual perception]. St. Petersburg: Azbuka-klassika.
4. Ringach, D.L., Hawken, M.J. & Shapley, R. (1996) Binocular Eye Movements Caused by the Perception of Three-Dimensional Structure from Motion. *Vision Research*. 36(10). pp. 1479–1492. DOI: 10.1016/0042-6989(95)00285-5
5. Schütz, A.C., Braun, D.I. & Gegenfurtner, K.R. (2011) Eye Movements and Perception: A Selective Review. *Journal of Vision*. 5(9). pp. 1–30. DOI: 10.1167/11.5.9
6. Kowler, E. (2011) Eye Movements: The Past 25 Years. *Vision Research*. 51(13). pp. 1457–1483. DOI: 10.1016/j.visres.2010.12.014
7. Iijima, A., Komagata, S., Kiryu, T. et al. (2012) Vergence Eye Movements Signifying 3D Depth Perception from 2D Movies. *Displays*. 33(2). pp. 91–97. DOI: 10.1016/j.displa.2011.11.001
8. Antipov, V.N. (2003) Pat. 2264299 RU. *Sposob formirovaniya trekhmernykh izobra-zheniy (varianty)* [Method of forming three-dimensional images (variants)]. Priority February 3, 2003. Published November 20, 2005. Bulletin № 32.
9. Antipov, V.N., Galimullin, D.Z. & Antipov, A.V. (2004) [Some principles of constructing the architecture of a neural network of nonlinear visual perception]. *NBATT-21*. Proc. of The Third International Interdisciplinary Conference. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University. pp. 31. (In Russian).
10. Antipov, V.N. & Galimullin, D.Z. (2004) O nekotorykh printsipakh postroeniya arkhi-tektury matematicheskoy modeli nelineynogo zritel'nogo vospriyatiya es-testvenno-prirodnoy neyronnoy seti cheloveka [On some principles of constructing the architecture of a mathematical model of nonlinear visual perception of the naturally natural neural network of man]. In: Salakhov, M.Kh. (ed.) *Kogerentnaya optika i opticheskaya spektroskopiya* [Coherent optics and optical spectroscopy]. Kazan: Kazan Federal University. pp. 145–152.
11. Antipov, V.N. (2005) Pat. 2318477 RU. *Sposob razvitiya zritel'noy sistemy che-loveka* [The way of development of the human visual system]. Priority August 22, 2005. Published March 10, 2008. Bulletin # 7.
12. Antipov, V.N., Baltina, T.V., Yakushev, R.S. & Antipov, A.V. (2008) Kognitivnyy kontrol' zritel'nogo vospriyatiya sovremennogo cheloveka kak ob'ekt izucheniya bioekologii [Cognitive control of modern human's visual perception as an object of bioecology]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Ser. Estestvennye nauki – Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series*. 150(3). pp. 145–151.
13. Minzaripov, R.G., Antipov, V.N., Chitalin, N.A. et al. (2009) O primeneniі metodiki razvitiya ob"emnogo kreativno-kognitivnogo zreniya v innovatsionnom obrazovatel'nom prostranstve [On the application of the methodology for the development of voluminous creative-cognitive vision in the innovative educational space]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Ser. Estestvennye nauki – Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series*. 151(3). pp. 266–277.

14. Antipov, V.N. & Zhegallo, A.V. (2013) *Vospriyatie ob"ema v tekhnogennoy srede* [Perception of volume in the technogenic environment]. In: Kharitonov, A.N. (ed.) *Evolutsionnaya i sravnitel'naya psikhologiya v Rossii: traditsii i perspektivy* [Evolutionary and comparative psychology in Russia: traditions and perspectives]. Moscow: Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences. pp. 333–336.
15. Valueva, E.A. & Ushakov, D.V. (2017) *Insight and incubation in thinking: the role of awareness processes. Sibirskiy psikhologicheskiy zhurnal – Siberian Journal of Psychology*. 63. pp. 19–35. (In Russian). DOI: 10.17223/17267080/63/2
16. Rozhkova, G.I. & Matveev, S.G. (2007) *Zrenie detey: problemy otsenki i funktsional'noy korrektsii* [Children's vision: problems of evaluation and functional correction]. Moscow: Nauka.
17. Sivukhin, D.V. (2005) *Obshchiy kurs fiziki* [General Course of Physics]. Vol. 4. 3rd ed. Moscow: Fizmatlit.
18. Max, J. (1983) *Metody i tekhnika obrabotki signalov pri fizicheskikh izmereniyakh* [Methods and technique of signal processing for physical measurements]. Translated from French by Yu.V. Pyatkov, G.M. Gorbachenko, S.D. Chigir. Vol. 1. Moscow: Mir.
19. Darbinyan, S.P., Petrashen, P.V. & Chukhovskii, F.N. (1992) Possibility of solving the inverse problem of diffractive scattering with dynamic effects. *JETP Letters*. 55(11). pp. 642–644.
20. Antipov, V.N. & Zhegallo, A.V. (2014) Three-dimensional perception of flat images in computerized environment. *Eksperimental'naya psikhologiya – Experimental Psychology*. 7(3). pp. 97–111.
21. Antipov, V.N., Vakhrameeva, O.A., Galimullin, D.Z., Zhegallo, A.V., Kharauzov, A.K. & Shelepin, Yu.E. (2012) *Eksperimental'noe izuchenie 3D-vospriyatiya obrazov ploskostnykh izobrazheniy* [Experimental study of 3D perception of planar images]. In: Barabanshchikov, V.A. (ed.) *Eksperimental'nyy metod v strukture psikhologicheskogo znaniya* [The experimental method in psychological knowledge]. Moscow: Institute of Psychology, RAS. pp. 187–194.
22. Antipov, V.N. & Zhegallo, A.V. (2011) *O vozmozhnosti testirovaniya tekhnologii obucheniya po 3D-vospriyatiyu ploskikh izobrazheniy* [On the possibility of testing a learning technology for 3D-perception of planar images]. *Obrazovanie i samorazvitie*. 3(25). pp. 163–169.
23. Barabanshchikov, V.A. & Zhegallo, A.V. (2013) *Registratsiya i analiz napravlenosti vzora cheloveka* [Registration and analysis of the orientation of the person's look]. Moscow: Institute of Psychology, RAS.
24. Kostandov, E.A. (2007) *Psikhofiziologiya kognitivnogo kontrolya zritel'nogo vospriyatiya* [Psychophysiology of cognitive control of visual perception]. In: *XX s'ezd Fiziologicheskogo obshchestva im. I.P. Pavlova* [The Twentieth I.P. Pavlov Physiological Society Congress]. Moscow: Russkiy vrach. pp. 5.

*Received 07.07.2017;*

*Revised 14.12.2017;*

*Accepted 21.01.2018*