

Использование записей движений глаз для анализа механизмов зрительной оценки размеров на примере иллюзии Мюллера-Лайера

В.В. Огников, П.В. Максимов, Г.И. Рожкова
 Институт проблем передачи информации РАН
 127994 Москва, Б. Каретный пер., 19.
 wwoo@yandex.ru

Аннотация

Цель работы - выяснение механизмов оценки длины в случае геометрических зрительных иллюзий. Метод - запись движений глаз в процессе сравнения длины отрезков в отсутствие дополнительных линий и в присутствии дистракторов, порождающих иллюзию Мюллера-Лайера. Регистрацию движений глаз производили при помощи системы, iView X™ Hi-Speed 1250 (SMI). В условиях бинокулярного наблюдения было протестировано 15 взрослых испытуемых от 18 до 60 лет. Зарегистрированные движения глаз трудно назвать «метрическими» или отражающими расположение информативных точек. Анализ записей позволяет отвергнуть любые гипотезы, связанные с непосредственным использованием глазодвигательной информации для оценки размеров в условиях наших экспериментов.

1. Введение

Систематическим изучением геометрических зрительных иллюзий исследователи занимаются более ста лет [1 - 12 и др.]. Долгое время методы исследования таких иллюзий базировались на использовании печатных образцов, что лимитировало возможности варьирования тестовых изображений. С появлением компьютеров появилась возможность генерировать стимулы на дисплеях и широко варьировать их параметры.

Одной из самых сильных геометрических иллюзий является иллюзия Мюллера-Лайера, которая исследуется с тех пор, как её придумал немецкий психиатр Франц Мюллер-Лайер в 1889 году и до самого последнего времени. Конфигурация, предложенная Мюллером-Лайером, представлена на Рис. 1, а. В этом изображении имеется два равных горизонтальных

отрезка, но из-за наличия наклонных отрезков-дистракторов (называемых крыльями, усиками, стрелками и т. п.) наблюдателю кажется, что правый отрезок существенно меньше левого. Наряду с такой конфигурацией, часто используется изображение, в котором два отрезка сведены вместе (Рис. 1, б). Такая версия была введена Brentano, в связи с чем соответствующую иллюзию часто называют иллюзией Brentano [13, 14]. Кроме того, в научных экспериментах используют также специальные модификации, различающиеся формой дистракторов (в, е, ж, з) или лишенные определенных деталей (г, д).

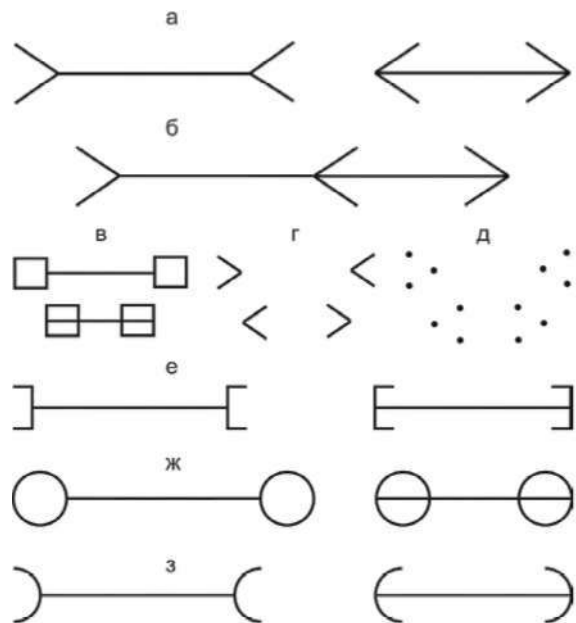


Рис. 1. Исходная фигура Мюллера-Лайера (а), версия Brentano (б) и несколько модификаций, использованных в экспериментах разных авторов (в - з).

Для объяснения иллюзии Мюллера-Лайера предложено более десятка гипотез (теорий, моделей). Напомним некоторые из них.

Влияние несовершенства оптики: при размывании изображений появляются локальные максимумы зачерненное™, которые и выбираются в качестве точек отсчета. У острых углов эти максимумы находятся внутри, что приводит к кажущемуся укорочению/удлинению отрезков, примыкающих к вершине угла изнутри/снаружи.

Взаимодействие контуров: тормозное влияние соседних линий характерным образом искажает представление фигур на нейронном уровне.

- Теория смещения оценок: на длину каждого отрезка влияет общий размер той части фигуры, в которую он входит.

Теория неадекватного шкалирования глубины, ведущая начало от Тьерри и развиваемая в наше время Грегори: искажение длины отрезков происходит под влиянием механизмов константности пространственного восприятия.

Влияние статистики зрительных сцен окружающего мира, т.е. физических источников соответствующих сетчаточных изображений: идентичные отрезки в тесте Мюллера-Лайера кажутся неравными, потому что различны распределения вероятности наблюдения их аналогов в реальном мире.

- Модель оценки размеров с использованием функции информативности: длины отрезков фактически измеряются по расстояниям между экстремумами функции информативности, которые локализуются внутри острых углов. (Для примера на Рис. 2 показано положение минимумов и максимумов функции информативности на изучавшихся стимулах)

- Глазодвигательная теория: точками отсчета при оценке длины являются точки фиксации взора на концах отрезков, которые в реальности сдвинуты от концевых точек внутрь острых углов, поэтому амплитуды скачков глаз между концами двух горизонтальных отрезков в конфигурации Мюллера-Лайера оказываются различающимися (Рис. 3).

Каждая из предложенных теорий может объяснить существование иллюзии Мюллера-Лайера в принципе, но либо не согласуется с реальной величиной иллюзии, либо не выдерживает критики в определенных специальных условиях. Например, так называемая «глазодвигательная теория» в свое время была отвергнута на том основании, что иллюзия сохраняется при кратковременном предъявлении изображений, исключаяшем

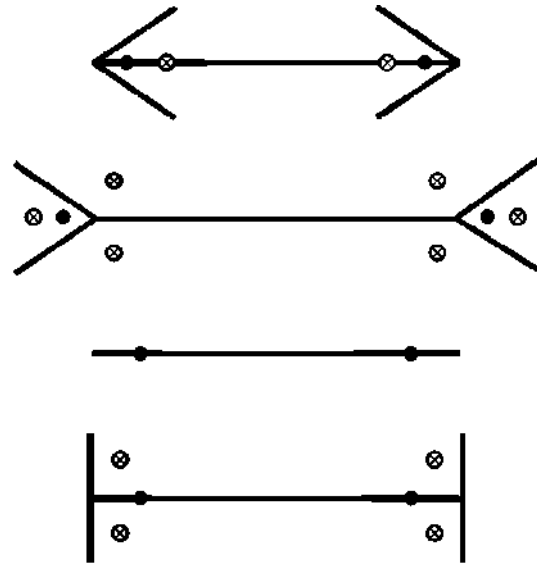


Рис. 2. Расположение минимумов (черные точки) и максимумов (крестики) функции информативности на двух частях фигуры Мюллера-Лайера и на контрольных отрезках (по [15], с. 146)

возможность перевода взора, а также в условиях стабилизации сетчаточных изображений.

Наиболее глубоко проработанная теория оценки расстояний/размеров на основе экстремумов функции информативности [15] не согласуется с картами реального расположения точек фиксации внимания, полученными экспериментально.

Поскольку у каждой теории были достаточно веские основания, мы предположили, что иллюзия Мюллера-Лайера объясняется не одним механизмом, а несколькими, причем разные механизмы локализованы на разных уровнях обработки зрительной информации (Рис. 3) и

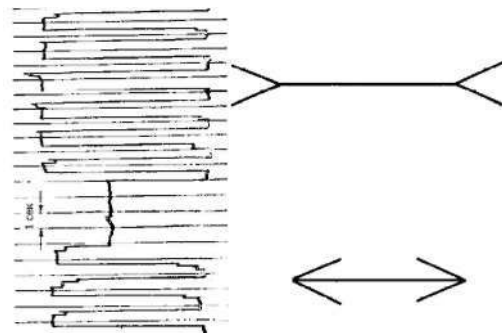


Рис. 3. Запись движения глаз при наблюдении фигуры Мюллера-Лайера с инструкцией переводить взгляд между концами отрезков (по [16])

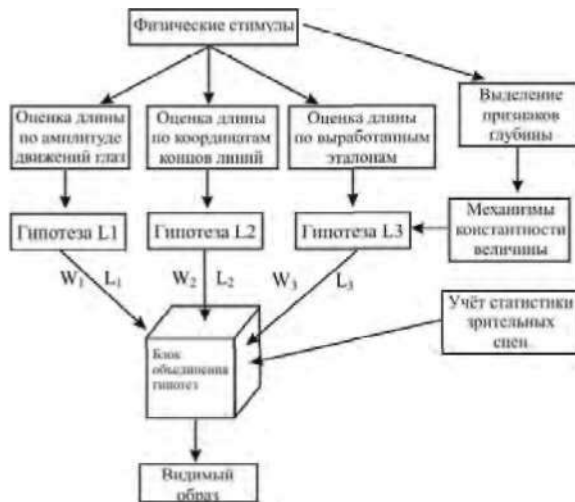


Рис. 4. Схема множественности механизмов иллюзии Мюллера-Лайера

не всегда функционируют одновременно. Обработка информации о размерах осуществляется разными способами в нескольких параллельных путях, а затем результаты частных оценок объединяются. Суммарный эффект, конечно, не равен простой сумме вкладов каждого механизма, а определяется правилами кооперации и конкуренции механизмов.

По результатам многих экспериментов и дискуссий, относительно движений глаз к настоящему времени сложилось мнение, что они не являются средством оценки расстояний, но отражают процесс перемещения внимания по рассматриваемому объекту. Понятие фиксации внимания было введено Вундтом - одним из основоположников теории зависимости восприятия от движений глаз. По-видимому, точки фиксации внимания не всегда совпадают с точками фиксации зрака. Правда, в определенных ситуациях наблюдается высокая корреляция между картами этих точек, но есть и ситуации, когда корреляция близка к нулю. Например, очевидно, что при анализе стабилизированных изображений движения глаз не могут отражать движение зрака по рассматриваемой картине, (поскольку сетчаточное изображение движется вместе с глазом, точка фиксации на нем неподвижна), но могут отражать перемещение внимания («внутреннего зрака»).

В настоящей работе сделана попытка исследовать процессы сравнения длины двух отрезков без дистракторов (глазомер) и с дистракторами (иллюзия Мюллера-Лайера), анализируя движения глаз. Учитывая выводы наших прежних исследований, приведших к схеме **Рис. 4**, мы ожидали, что при сходных конфигурациях тест-объектов характер движений глаз будет сильно зависеть от сложности задачи

(т.е. от различия в длине отрезков), так как задачи разного уровня сложности будут решаться разными механизмами.

2. Методика

2.1. Аппаратура для записи и анализа движений глаз

Запись движений глаз производили на установке iView X™ Hi-Speed 1250 (Sensomotoric Instruments (SMI) Ltd.). Это система видеослежения за темным зрачком, использующая инфракрасное освещение и компьютерную обработку изображений в реальном масштабе времени. В процессе обработки вычисляются координаты центра зрачка, которые после калибровки переводятся в данные о направлении зрака. Кроме того, регистрирующая система отслеживает роговичный рефлекс, чтобы скомпенсировать изменения позиций видеокамеры по отношению к голове. На **рис. 5** показаны метки в центре зрачков (белые кресты) и на роговичных бликах (черные кресты), по которым определяется направление зрака.

Пространственное разрешение установки в лучших условиях может достигать до одной угловой минуты, временное разрешение при бинокулярной регистрации соответствует частоте 500 Гц.

Общий вид экспериментальной установки с испытуемым показан на **рис. 6**. Голова испытуемого фиксировалась с помощью подбородника и лобного упора. Система видеослежения находилась над головой, и световые лучи от глаз попадали в объектив,

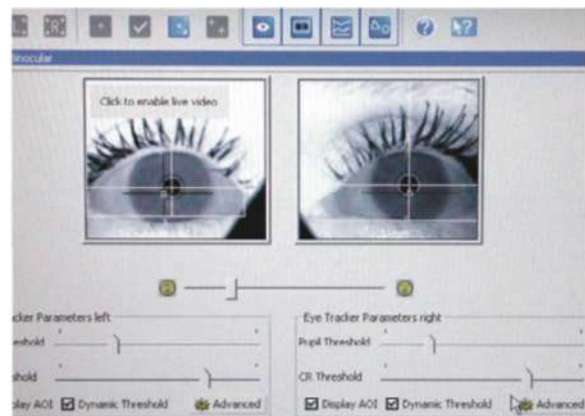


Рис. 5. Вид части дисплея, соединенного с компьютером, производящим обработку видеосигналов. На двух кадрах представлены изображения левого и правого глаз испытуемого в некоторый момент рассматривания стимула



Рис. 6. Общий вид экспериментальной установки с испытуемым и двумя дисплеями - для стимуляции и контроля записи движений глаз.

отражались от наклонного полупрозрачного зеркала. На каждом испытуемом перед записью движений глаз производили калибровку прибора по 13 точкам в различных участках стимулирующего экрана.

При анализе записей движений глаз выделяли фиксации (фазы блуждания взора на малом участке изображения) и саккады (быстрые скачки с амплитудой более 0.2° и скоростью более $30^\circ/\text{сек}$ от одной точки фиксации к другой).

2.2 Тестовый материал

Испытуемому последовательно предъявляли 10 изображений пары отрезков с различным отношением длин, причем в одной серии опытов отрезки были без дистракторов (для оценки глазомера), а в другой - с дистракторами (для оценки иллюзии). Различия в длине отрезков на 10 тестовых изображениях представлены в Таблице 1. Абсолютные значения длин отрезков варьировали в диапазоне 78-128 мм, а общая длина фигуры практически не менялась. В стимуле № 1 правый стимул был на 8% меньше левого, в стимуле № 2 отрезки были равны, а в стимуле № 10 длина правого отрезка более чем в полтора раза (на 64%) превосходила длину левого.

Таблица 1. Различия (в %) в длине двух горизонтальных отрезков для 10 использованных тестовых изображений

Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Разность %	-8	0	8	16	24	32	40	48	56	64

Стимулы предъявлялись на мониторе BenQ FP91G 19" с разрешением 1280 x 1024 пикселей,

который располагался на расстоянии 1 м от глаз испытуемого. Угловые размеры отрезков составляли при этом $4,5 - 7,5^\circ$.

2.3 Процедура

После инструктажа и калибровки испытуемому последовательно предъявляли серию тестовых изображений с парами отрезков. Испытуемый должен был определить, какой из отрезков длиннее и слегка приподнять указательный палец левой/правой руки, если длиннее кажется левый/правый отрезок, или оба пальца, если отрезки кажутся равными. Запись движений глаз включали в момент предъявления стимула и прекращали, как только испытуемый принимал решение. Стимулы предъявляли один за другим в псевдослучайном порядке. Процедуру калибровки прибора выполняли один раз в начале каждой тестовой серии.

2.4 Испытуемые

Было протестировано - 15 испытуемых - лет (из них - 4 мужского пола). Испытуемыми были сотрудники ИППИ в возрасте от 18 до 60 лет, как не имевшие опыта участия в подобных экспериментах, так и опытные. Перед началом эксперимента у всех испытуемых проверялась острота зрения.

3. Результаты и обсуждение

Типичные записи движений глаз при наблюдении тестовых изображений с дистракторами и без них, а также результаты обработки записей представлены на рис. 7-11.

Рис. 7 демонстрирует общий вид записей, получаемых для смещений взора по двум координатам (X и Y).

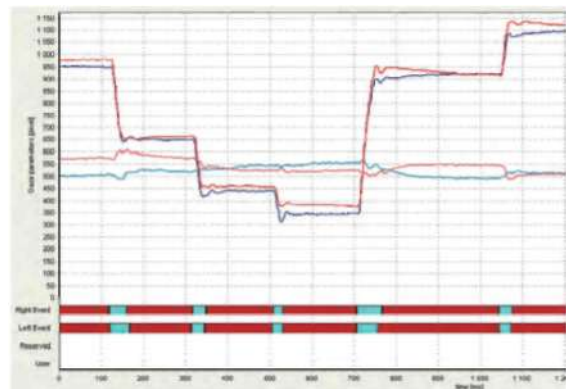


Рис.7: Общий вид записей (по оси абсцисс - время, по оси ординат - смещения левого и правого глаз по двум координатам)

В данном представлении по оси абсцисс

отклоняется время, а по оси ординат — позиции взора на экране монитора по горизонтали и вертикали. Движение правого глаза представлено красными линиями, а левого - синими линиями. Более насыщенные цвета соответствуют смещению по горизонтали. На приведенной записи одного испытания хорошо выделяются фазы фиксации (практического постоянства координат), которые соответствуют горизонтальным участкам кривых, и скачки глаз - саккады, которые соответствуют переходам от одного горизонтального участка к другому. На графике четко видна серия синхронных для двух глаз горизонтальных скачков (ступени на записях X-координаты обоих глаз) и практическое отсутствие смещений глаз по вертикали (изменение Y-координат представляют две линии, идущие по центру почти на одном уровне в течение всего измерения)

На Рис. 8 приведены карты внимания для набора тестовых изображений с дистракторами и без них, полученные для одного конкретного испытуемого. Плотность точек на этих картах отражает время фиксации взора в соответствующем месте. Как видно из приведенных карт, в случае когнитивной задачи (сравнить длину отрезков), в отличие от случая глазодвигательной задачи (переводить взор между концами отрезков) не наблюдается концентрации точек фиксации у концов сравниваемых отрезков (сравни рис. 8 с рис. 3).

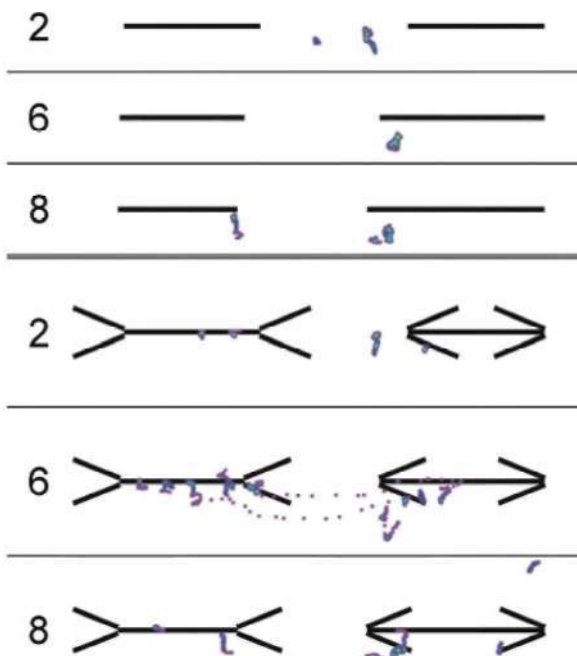


Рис.8: Карты внимания для стимулов 2, 5 и 8 в сериях «глазомер (вверху) и «иллюзия» (внизу). Точки фиксации наложены на соответствующие стимулы.

Заметим, что это имеет место как для отрезков

с дистракторами, так и без дистракторов.

Следует специально подчеркнуть, что в простых случаях (при большой разнице в длине отрезков) для принятия решения хватает нескольких фиксаций, и не требуется никаких специфических «метрических» движений глаз (по терминологии Гиппенрейтер [17, 18]).

Можно думать, что в этих случаях процедура оценки длины ближе всего соответствует теории центрации Пиаже, предполагающей наличие у человека способности одномоментной оценки расстояний и размеров.

На Рис. 9-11 приведены данные по зависимости числа и длительности фиксаций, а также общего времени принятия решения от типа стимула (с дистракторами, без дистракторов) и трудности задачи (различия в длине отрезков: номера стимула). Графики показывают, что для числа фиксаций и времени принятия решения имеются отчетливые максимумы, соответствующие субъективной близости сравниваемых отрезков по длине. Для отрезков без дистракторов (глазомер) - это стимулы 1, 2, 3, а для отрезков с дистракторами - стимулы 5, 6, 7.

Изменения паттернов на картах внимания Рис.8 и характер кривых Рис. 9-11 позволяют предположить, что по мере усложнения когнитивной задачи происходит смена тактики осмотра изображений и алгоритмов вычисления длины или смена доминирования параллельных механизмов в гипотетической схеме 3.

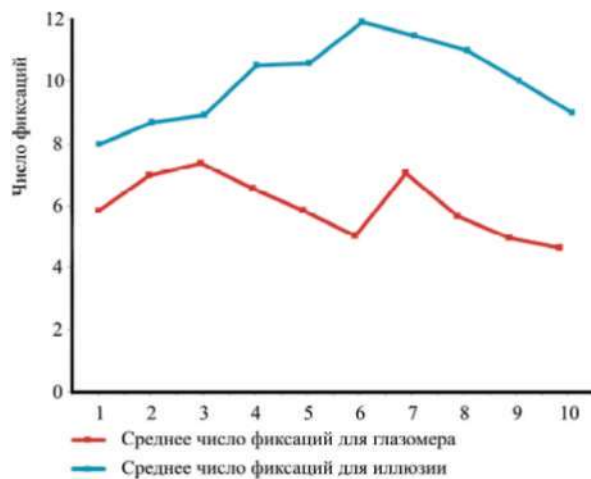


Рис.9: Среднее число фиксаций при сравнении отрезков в сериях «иллюзия» (15 испытуемых) и «глазомер» (10 испытуемых). Стимул 2 соответствует равным отрезкам, далее с увеличением номера различие в длине отрезков увеличивается шагами в 8%.

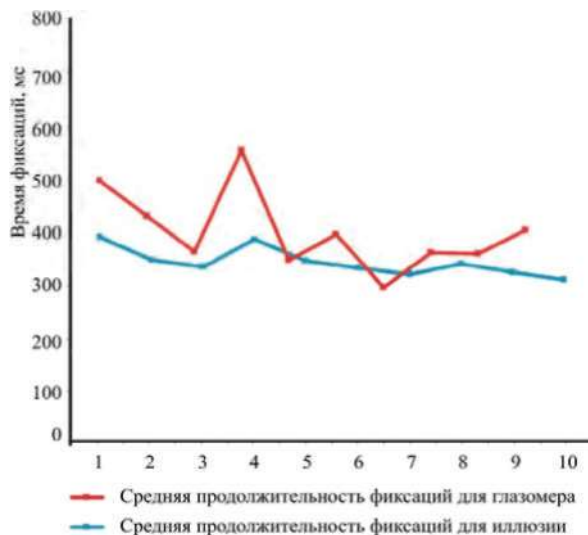


Рис.10: Средняя длительность фиксации при сравнении отрезков в сериях «иллюзия» (15 испытуемых) и «глазомер» (10 испытуемых). Стимул 2 соответствует равным отрезкам, далее с увеличением номера различие в длине отрезков увеличивается шагами в 8%.

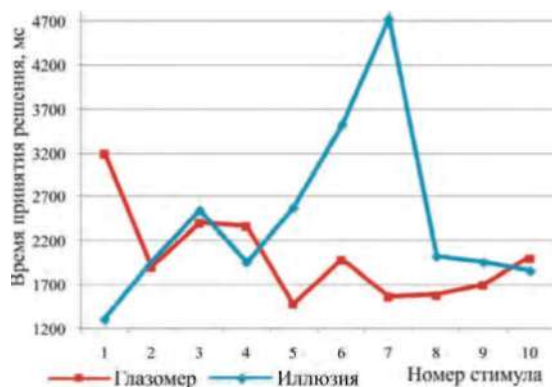


Рис.11. Среднее время принятия решения в сериях «иллюзия» (15 испытуемых) и «глазомер» (10 испытуемых). Стимул 2 соответствует равным отрезкам, далее с увеличением номера различие в длине отрезков увеличивается шагами в 8%.

5. Литература

- [1] Грегори Р. Л. Иллюзии / Сб. Психология ощущений и восприятия / Под ред. Ю.Б. Гиппенрейтер. М.: ЧеРо. 2002. - С. 174-185.
- [2] Dewar R.E. Stimulus determinants of the magnitude of the Mueller-Lyer illusion // *Percept. Mot. Skills*. 1967. - V.24. - P.708-710.
- [3] Eysenck H. J., Slater, P. Effects of practice and rest on fluctuations in the Müller-Lyer illusion // *Br. J. Psychol.* 1958. - V. 49. - P. 246-255.

[4] Gregory R.L. The grammar of vision // *Listener*. 1971. - V.83. - P.242.

[5] Judd C.H. A Study of Geometrical Illusions. // *Psychol. Rev.* 1899. - V. 6. - P. 241.

[6] Judd C.H. The Müller-Lyer illusion // *Psychol. Rev. Monogr. Suppl.* 1905. - V.7. - P.55-81.

[7] Lewis E.O. Confluxion and contrast effects in the Müller-Lyer illusion. // *Br. J. Psychol.* 1909. - V.3. - P.21-41.

[8] Pollack, R. H., Chaplin, M. R. Effects of prolonged stimulation by components of the Müller-Lyer figure upon the magnitude of illusion // *Percept. Mot. Skills*. 1964. - V. 18. - P. 377-382.

[9] Predebon J. A comparison of length-matching and length-fractionation measures of Müller-Lyer distortions // *Percept. Psychophys.* 2005. - V.67. - Iss.2. - P.264-273.

[10] Predebon J. Decrement of the Brentano Müller-Lyer illusion as a function of inspection time // *Percept. Psychophys.* 1998. - V.27. - P.183-192.

[11] Predebon J. Length Illusions in Conventional and Single-Wing Müller-Lyer Stimuli // *Percept. Psychophys.* 2000. - V.62. - P.1086-1098.

[12] Predebon J. Selective attention and asymmetry in the Müller-Lyer illusion // *Psychonom. Bull. Review*. 2004. - V. 11. - P.916-920.

[13] de Grave, D. D. J., Franz, V. H., Gegenfurtner, K. R. "The influence of the Brentano illusion on eye and hand movements" *Journal of Vision*, 2006. V. 6, pp. 727-738.

[14] de Grave, D. D. J., Smeets, J, B. J., Brenner, E. "Why are saccades influenced by the Brentano illusion?" *Exp. Brain Res.*, 2006. V. 175, pp. 177-182.

[15] Завалишин Н.В., Мучник И.Б. Модели зрительного восприятия и алгоритмы анализа изображений. М., Наука. 1974г. 344с.

[16] Ярбус А.Л. *Роль движения глаз в процессе зрения*. М.: Наука, 1965. 166 с.

[17] Гиппенрейтер Ю. Б. Опыт экспериментального исследования работы зрительной системы наблюдателя. / В сб.: *Инженерная психология*. М.: МГУ. 1964.

[18] Гиппенрейтер Ю.Б. *Движения человеческого глаза*. М: Изд-во МГУ, 1978. 256 с. *chophysics*, 1985. V. 37, pp. 335-344.