



ЗРИТЕЛЬНЫЕ ИЛЛЮЗИИ И ВОСПРИЯТИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ

БОНДАРКО В.М.

*Институт физиологии имени И.П. Павлова РАН (ФГБУН ИФ РАН),
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7408-302X>, e-mail: vmbond@gmail.com*

СОЛНУШКИН С.Д.

*Институт физиологии имени И.П. Павлова РАН (ФГБУН ИФ РАН),
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4009-6716>, e-mail: solnushkin@list.ru*

ЧИХМАН В.Н.

*Институт физиологии имени И.П. Павлова РАН (ФГБУН ИФ РАН),
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4955-4608>, e-mail: v_c_pavlinst@mail.ru*

В психофизических экспериментах исследовали механизмы восприятия изображений, являющихся элементами проекций зданий античной и классической архитектуры. Оценивали кривизну изолированных линий и линий, на которые наложены линии веера (иллюзия Вундта—Геринга), а также ориентацию линий в присутствии дистракторов с меняющимся наклоном и находящихся на различном расстоянии до тестируемых линий (иллюзия наклона). Использовали методы константных стимулов и вынужденного выбора. Эксперименты проведены на трех наблюдателях с большим количеством повторения стимулов, позволившим оценить достоверность полученных зависимостей. Установлены величины искажений в иллюзиях Вундта—Геринга (ВГ) и наклона. Показано, что кривизна отдельных линий, без изображения веера, оценивается адекватно. Анализ результатов позволил сделать вывод о том, что внесенные поправки в ориентацию и кривизну деталей в классической архитектуре компенсируют искажения зрительного восприятия. В то же время искривление отдельных элементов может быть обусловлено эстетикой восприятия.

Ключевые слова: различение ориентации, иллюзия наклона, иллюзия Вундта—Геринга, кривизна, классическая архитектура, красота, эстетика, энтазис.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Госпрограммы ГП-47 «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (2019-2030), тема 0134-2019-0006.

Благодарности. Авторы выражают благодарность за помощь в проведении экспериментов сотрудникам лаборатории информационных технологий и математического моделирования Института физиологии имени И.П. Павлова РАН.

Для цитаты: Бондарко В.М., Солнушкин С.Д., Чихман В.Н. Зрительные иллюзии и восприятие классической архитектуры // Экспериментальная психология. 2023. Том 16. № 3. С. 68—85. DOI: <https://doi.org/10.17759/exppsy.2023160305>



VISUAL ILLUSIONS AND PERCEPTION OF CLASSICAL ARCHITECTURE

VALERIA M. BONDARKO

Pavlov Institute of Physiology of RAS, Saint Petersburg, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7408-302X>, e-mail: vmbond@gmail.com

SERGEI D. SOLNUSHKIN

Pavlov Institute of Physiology of RAS, Saint Petersburg, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4009-6716>, e-mail: solnushkin@list.ru

VALERY N. CHIKHMAN

Pavlov Institute of Physiology of RAS, Saint Petersburg, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4955-4608>, e-mail: v_c_pavlinst@mail.ru

We carried out psychophysical experiments to study perception mechanisms of images that are elements of building projections in ancient and classical architecture. The curvature of isolated lines and lines superimposed on a fan picture (Wundt-Hering illusion), as well as the orientation of lines in the presence of distractors with varying inclination and separation (tilt illusion) were estimated. We used the methods of constant stimuli and the forced choice procedure. The experiments were carried out on three subjects with a large number of presentations of stimuli, which made it possible to evaluate the statistical significance of the obtained dependences. The values of distortions in the illusion of Wundt-Hering (WH) and in the tilt illusion were determined. It is shown that the curvature of single lines without fan lines is estimated adequately. The analysis of the results led to the conclusion that corrections of the orientation and curvature of elements in classical architecture compensate for the distortions of visual perception. At the same time, the curvature of some elements may be due to the aesthetics of perception.

Keywords: discrimination of orientation, the tilt illusion, the Wundt-Hering illusion, curvature, classical architecture, beauty, aesthetics, entasis.

Funding. This study was supported by the State Program GP-47 “Scientific and Technological Development of the Russian Federation” (2019-2030), theme 0134-2019-0006.

Acknowledgements. The authors are grateful in conducting the experiments to the employees of the laboratory of information technologies and mathematical modeling of I.P. Pavlov Institute of physiology RAS.

For citation: Bondarko V.M., Solnushkin S.D., Chikhman V.N. Visual Illusions and Perception of Classical Architecture. *Экспериментальная психология = Experimental Psychology (Russia)*, 2023. Vol. 16, no. 3, pp. 69–85. DOI: <https://doi.org/10.17759/exppsy.2023160305> (In Russ.).

Введение

Изучение зрительного восприятия имеет древнюю историю. Концепция о «зрительных лучах, исходящих из глаз», предложенная Платоном, рассматривалась многими учеными вплоть до средних веков. На ее основе Евклид создал теорию отражения света от плоских и сферических зеркал и положил начало геометрической оптике. Его геометрические построения использовал в своей работе римский архитектор и инженер Марк Витрувий, живший в I веке до нашей эры, и многие другие. Витрувию принадлежит известный афоризм: «Архитектура — это прочность, польза и красота». В своем трактате «Десять книг об



архитектуре» Витрувий обобщил опыт греческого и римского зодчества, в котором рассмотрел принципы художественного восприятия и геометрическую оптику.

Только в XVII веке началось изучение физиологии зрения и на ее основе — зрительного восприятия, в результате которого ведущая роль в световосприятии была отдана сетчатке и были выяснены особенности оптики глаза. В XIX веке началось активное исследование закономерностей восприятия и особенностей органов чувств человека. Именно тогда исследователи стали классифицировать оптические иллюзии и анализировать причины их возникновения. В конце XIX — начале XX века было описано большое количество зрительных иллюзий. К ним относятся такие известные иллюзии, как Мюллера—Лайера, Опфель—Кундта, Понзо, Вундта—Геринга, Эббингхауза, иллюзия наклона и другие.

Удивительным представляется тот факт, что в Древней Греции многие из этих иллюзий использовали в архитектуре для создания желаемого эффекта при созерцании объекта. Каким образом древние зодчие предвосхитили современные знания, остается только строить догадки. Скорее всего, они опирались на зрительное впечатление от увиденного и первоначально строили макеты зданий. Ярчайшим примером древнегреческой архитектуры является Парфенон — храм в Афинах, построенный в 447—438 гг. до н.э. Здания классической архитектуры строго следуют его канонам. Храм замечателен по своей красоте и изяществу. Несмотря на кажущуюся прямизну, в храме практически отсутствуют прямые линии: двумерные проекции здания имеют множество выпуклых горизонтальных и вертикальных линий. Стилобат (пол) поднимается к центру, а угловые колонны наклоняются к середине и имеют бочкообразную форму, так называемый энтазис. На наш взгляд, эти поправки внесены не случайно. Чтобы храм казался выше, использованы законы перспективы: колонны сужаются кверху. Это, в свою очередь, приводит к возникновению побочного эффекта — иллюзии наклона (рис. 1а), из-за которой может казаться, что колонны, образующие острый угол наверху (рис. 1г), расходятся. Чтобы этого не происходило, колонны храма наклонены внутрь. Но это вызывает возникновение иллюзии Вундта—Геринга (ВГ) или иллюзии веера — кажущуюся вогнутость прямой линии, соединяющей сходящиеся лучи веера (рис. 1б). Во избежание этого линия стилобата в храме сделана выпуклой. Учитывается в архитектуре и ряд других зрительных иллюзий, о которых кратко будет сказано в разделе «Обсуждение результатов».

Коротко остановимся на зрительных иллюзиях. Иллюзия наклона возникает в присутствии дополнительных изображений с другой ориентацией [28; 29]. Максимальное искажение в оценке выявлено при разнице в ориентациях тестового и дополнительного изображений 15—45° [22; 35—37; 42—44]. При такой разнице линии кажутся наклоненными в противоположную сторону от дополнительной, наблюдается эффект отталкивания. Иллюзия может возникать из-за максимального ответа нейронов с рецептивными полями с оптимальной, отличной от тестируемого стимула ориентацией и взаимодействия между пространственно-частотными ориентационными каналами [1; 13; 19; 23; 43]. Считается, что иллюзия наклона лежит в основе таких зрительных иллюзий, как иллюзии Поггендорфа, Цольнера, Вундта—Геринга и других [40].

Иллюзия ВГ, или иллюзия веера, впервые была описана в середине XIX века [31; 45]. При наложении на прямые линии линий веера они кажутся искривленными (выпуклыми или вогнутыми). На рис. 1 приведены иллюстрации к нашему исследованию: показана схема Парфенона и примеры этих иллюзий. На рис. 1а в центре круга изображена вертикально ориентированная решетка, но из-за окружения она кажется наклоненной по часовой стрел-



ке. Аналогичная иллюзия наблюдается при использовании в качестве изображений линий. На рис. 1б верхняя горизонтальная прямая линия кажется выпуклой, а нижняя — вогнутой из-за наложения на них изображения веера. Подобное искажение может возникать из-за кажущегося преувеличения углов между горизонтальными линиями и линиями веера, т. е. из-за иллюзии наклона.

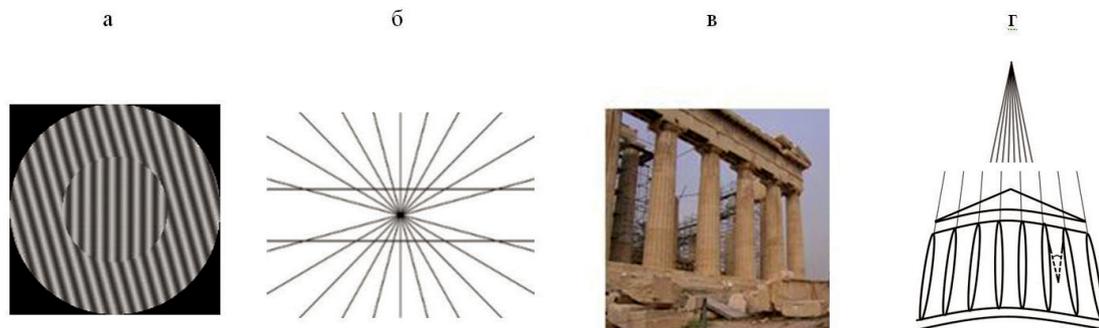


Рис. 1. Зрительные иллюзии, присутствующие в проекциях Парфенона: а, б — иллюзии наклона и Вундта—Геринга; в — фотография Парфенона; г — схема двумерной проекции Парфенона: искривлен стилобат, выпуклые колонны наклонены внутрь; соседние колонны образуют сверху острый угол (показан пунктиром)

Небольшую выпуклость колонн (энтазис) в архитектуре также принято связывать с оптической иллюзией [7; 8; 15]. Предполагается, что колонны с прямыми сторонами будут восприниматься как вогнутые. К сожалению, в литературе отсутствуют публикации по детальному изучению зрительного восприятия элементов классической архитектуры, характерных для этого стиля. В настоящей работе мы попытались восполнить этот пробел.

Цель исследования заключается в изучении зрительного восприятия отдельных составляющих в проекциях классических зданий. В частности, в психофизических экспериментах будут исследованы иллюзии ВГ и наклона. Для уточнения роли энтазиса будет проведена оценка кривизны отдельных линий без добавления линий веера.

Задача исследования состоит в получении экспериментальных данных, а также их анализе, который позволит высказать предположения о том, чем вызваны внесенные поправки в архитектуру храма.

Проверяемая гипотеза: архитектура храма не только компенсирует погрешности зрительного восприятия, но также обусловлена эстетикой восприятия и необходимой прочностью конструкций.

Ранее мы исследовали механизмы возникновения иллюзий ВГ и наклона. В экспериментах с иллюзией наклона использовали примыкающие друг к другу линии [1; 13]. В настоящей работе проведены аналогичные эксперименты, но с другим наклоном линий, более соответствующим наклону колонн храма. Кроме того, были выполнены дополнительные исследования по оценке ориентации линий в случае, когда добавочные линии размещались от оцениваемых на различном расстоянии, как в проекции храма. При исследовании иллюзии ВГ также проведены подобные предыдущим эксперименты [2; 4], но с другой комплектацией референтных стимулов. Отличие от предыдущих исследований заключается, кроме того, в другой интерпретации данных и рассмотрении их с точки зрения эстетического восприятия.



Новизна исследования заключается как в получении новых экспериментальных данных с использованием изображений, подобных присутствующим в храме, так и в анализе результатов с точки зрения возможности компенсации зрительных искажений за счет внесения поправок в архитектуру и эстетического восприятия изображений. Необходимо отметить, что в современной литературе по архитектуре проводятся исследования по восприятию типовых зданий [6; 9; 12]. В настоящей работе мы особое внимание уделяем получению оценок кривизны. Искривления деталей в типовых проектах используются редко из-за существенного удорожания постройки, возможно, поэтому анализ их восприятия не производится. Выпуклые элементы часто присутствуют в культовых зданиях, стадионах, театрах, дворцах, но исследования по их зрительному восприятию отсутствуют. Новизна нашей работы заключается, кроме того, в оценке восприятия искривленных изображений.

Методика

Наблюдатели. В экспериментах приняли участие трое наблюдателей с нормальной остротой зрения. Все наблюдатели имели опыт участия в психофизических экспериментах, но не были осведомлены о целях данного исследования. Исследование было одобрено Этическим комитетом СПбГУ. Заметим, что в длительных психофизических экспериментах такое количество наблюдателей является общепринятой практикой, поскольку групповые исследования с большим количеством наблюдателей часто из-за большого разброса данных не позволяют выявить достоверные зависимости, особенно в пороговых условиях наблюдения.

Стимулы. Проведено четыре эксперимента, в которых сравнивались два одновременно предъявляемых изображения. Одно изображение в паре — тестовое, всегда было линией, у которой в одних экспериментах менялась ориентация, в других — кривизна. В первом и втором экспериментах при изучении иллюзии наклона использовали прямые линии длиной 2,5 и 3 угл. град. Одиночные короткие линии с углом 87° или аналогичные линии с дополнительными длинными линиями представляли референтный стимул (рис. 2а, б). В первом эксперименте дополнительная линия примыкала к короткой, а во втором — отстояла от нее на расстояниях от 1,5 до 3,9 угл. град. Мы не использовали вертикаль 90° из-за возможного влияния окружающих объектов, а также потому, что ориентация 87° больше соответствует наклону колонн. Угол между линиями в первом эксперименте менялся случайным образом и составлял ± 10 , ± 20 или $\pm 30^\circ$, а во втором был равен ± 15 . В качестве теста использовалась короткая линия длиной 2,5 угл. град., ориентация которой менялась случайным образом между 84° и 90° с шагом 1°.

В третьем и четвертом экспериментах исследовали иллюзию ВГ и оценивали кривизну отдельных линий в горизонтальной и вертикальной ориентации. Три референтных изображения представляли собой веер из расходящихся лучей в горизонтальной или вертикальной ориентации, на который наложены прямая, вогнутая или выпуклая линии (рис. 2в, г). Угловые размеры горизонтально расположенного веера 6,7 x 5,1 угл. град., расстояние от центра веера до линий составляло 0,63 угл. град., длина прямой, соединяющая крайние лучи веера, — 4,7 угл. град. Вогнутая и выпуклая линии строились как дуги окружности с большим радиусом. Расстояние d от горизонтальной прямой длиной 6,7 угл. град. до вершин дуг референтных стимулов было равно $\pm 3,8$ угл. мин. Кроме того, в этих же экспериментах предъявляли еще три референтных изображения с аналогичными вогнутыми, прямыми или выпуклыми линиями в отсутствие изображения веера. Мы использовали две ориентации этих изображений, поскольку необходимо было провести эксперименты в одинаковых условиях.



Однако в проекции храма присутствуют либо отдельные вертикальные выпуклые линии, либо горизонтальные линии, наложенные на веер. На рис. 2ж показана выпуклая дуга с положительным значением d . Это расстояние использовали как показатель кривизны.

Аппаратура. Стимулы синтезировали на мониторе Mitsubishi Diamond Plus 230SB с размером диагонали 22" при разрешении экрана 1600x1200 пикселей и частотой вертикальной развертки 100 Гц. Программное обеспечение было разработано в среде программирования Delphi. Предъявляли темные линии (5 кд/м²) на светлом фоне (40 кд/м²), толщина линий составляла величину 0,8 угл. мин. Изображения предъявляемых линий были сглажены с помощью библиотеки Windows GDI+.

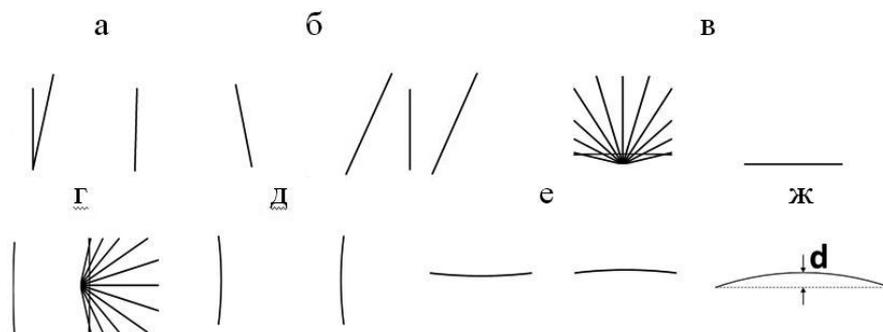


Рис. 2. Использованные в экспериментах изображения и схема измерения кривизны: а–е — вид сравниваемых на экране изображений; отдельные линии — тестовые изображения с варьируемой ориентацией (а, б) или кривизной (в–е); ж — схема измерения кривизны как расстояния d между горизонтальной линией и максимумом для выпуклой линии и как $-d$ до минимума вогнутой линии

Процедура. Использовали методы вынужденного выбора и константных стимулов. Референтные и тестовые изображения появлялись справа или слева от центра экрана случайным образом на расстояниях между центрами изображений, в среднем равных 10 угл. град. со сдвигом в пределах $\pm 0,1$ угл. град. по вертикали и горизонтали. Задача наблюдателя заключалась в сравнении ориентации линий в экспериментах по изучению иллюзии наклона или кривизны линий в остальных экспериментах. Наблюдатель должен был ответить на вопрос: «Где линия повернута сильнее против часовой стрелки (или где более выпуклая): справа или слева?» Ответ «не знаю» разрешен не был. Для ответа использовали специально разработанный эргономичный пульт с кнопками. Для каждого референтного стимула было взято не менее семи тестовых изображений. Количество и шаг изменения параметров тестовых стимулов были определены в предварительных экспериментах для каждого наблюдателя таким образом, чтобы вероятность ответа «справа искомым стимул» находилась в диапазоне 0,1–0,9.

Сначала было проведено два эксперимента с изучением иллюзии наклона. Затем два эксперимента по оценке кривизны линий в горизонтальной или вертикальной ориентации стимулов. Эксперименты проходили в одни и те же дни в случайном порядке. Данные, полученные в разные экспериментальные дни, суммировали. Всего каждую пару стимулов (тестовый с различной ориентацией или кривизной и референтный) предъявляли не менее 40 раз в течение не менее 20 экспериментальных дней. Точка фиксации не использовалась. Наблюдение было бинокулярным с расстояния 115 см до экрана. При таком расстоянии наблюдения величина 1 угл. град соответствует 2 см на экране. Время предъявления стиму-



лов — 1 с. Ритм предъявления изображений на экране задавал сам наблюдатель, но после предыдущего предъявления проходило не менее 1 с.

Обработка данных. Для каждого наблюдателя строили психометрические функции для ответов по всем опытам при фиксированном референтном стимуле. С помощью метода наименьших квадратов психометрические функции были приближены к функциям нормального распределения. Разницы между экспериментальными данными и полученными нормальными распределениями были оценены по методу χ^2 . Пороги вычисляли как стандартные отклонения полученных нормальных распределений (соответствуют уровню 84% ответов на психометрической функции). Величины средних значений у нормальных распределений соответствуют тем параметрам, при которых наблюдатели считают референтные стимулы равными тестовым. Они используются для оценки искажений восприятия. Для определения достоверности результатов использовали дисперсионный анализ ANOVA и критерий Стьюдента. При вычислении статистики по критерию Стьюдента мы суммировали ответы по каждому десяти предъявлениям стимулов, строили по ним психометрические функции и аппроксимировали их нормальными распределениями. Таким образом, у каждого наблюдателя для фиксированного референтного стимула было получено по четыре средних значения (математических ожиданий у нормальных распределений), которые затем использовали для попарного сравнения средних величин.

Результаты

Иллюзия наклона. Психометрические функции для ответов «линия повернута против часовой стрелки» аппроксимированы функциями нормального распределения с высокой точностью (разницы между отдельными точками на психометрических кривых и функциях нормального распределения, оцененные по методу χ^2 , достоверно не отличались у всех наблюдателей, $p > 0,05$). Величины средних значений соответствуют тем ориентациям, при которых наблюдатели считают совпадающими ориентации тестовой и референтной линий. На рис. 3а приведены разности между средними значениями и реальными физическими наклонами линий в зависимости от разницы в ориентации между короткой и дополнительной линиями отдельно для наблюдателей S1, S2 и S3.

Разности отражают искажение в восприятии — иллюзию. Кривые идут в противофазе: референтная линия воспринимается повернутой по часовой стрелке при повороте дополнительной линии против часовой стрелки, т. е. линии кажутся наклоненными в другую сторону от дополнительной. Зависимости, полученные у разных наблюдателей, аналогичны. Двухфакторный дисперсионный анализ с факторами «угол наклона» и «наблюдатель» выявил достоверные зависимости иллюзий от угла наклона дополнительных линий ($F[5] = 30,45; p < 0,001$) и схожесть иллюзий у разных наблюдателей ($F[2] = 2,53; p = 0,12$). Иллюзия максимальна для разницы в ориентации 20° , где равна $2-3^\circ$.

На рис. 3б показаны пороги различения ориентации линий, вычисленные как стандартные отклонения функций нормальных распределений. Кривые демонстрируют зависимость порогов от разницы в ориентации между короткой и дополнительной линиями. Пороги практически не зависят от ориентации дополнительных линий, но они разные у наблюдателей (рис. 3б). Это подтверждает двухфакторный дисперсионный анализ без повторений ($F[5] = 1,16; p = 0,39; F[2] = 8,12; p < 0,01$).

На рис. 4 приведены результаты эксперимента по оценке ориентации в зависимости от расстояния до дистракторов. Данные трех наблюдателей усреднены, так как не выявлено

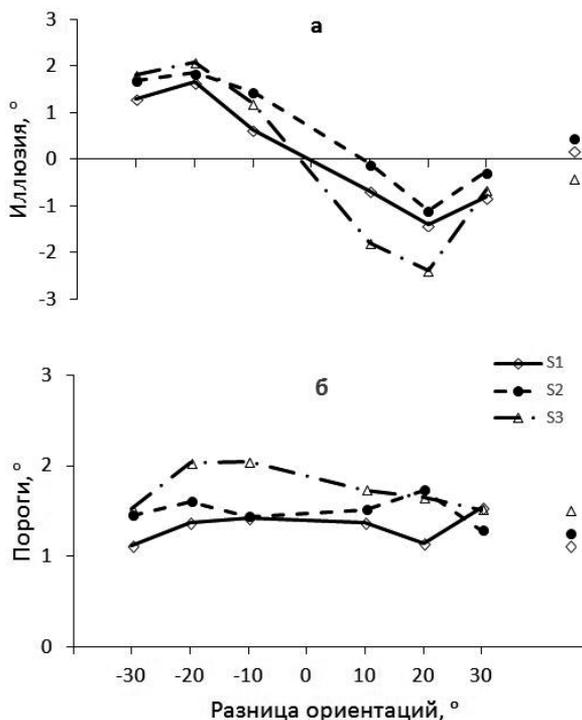


Рис. 3. Результаты исследования иллюзии наклона: а — искажения в оценке ориентации (иллюзии, °); б — пороги различия ориентации, °. Крайние точки справа — оценка ориентации одиночных линий (а) и пороги различия их ориентации (б); S1, S2 и S3 — данные разных наблюдателей

достоверных отличий между ними. Величины воспринимаемой ориентации при повороте дополнительных линий на 15° по часовой (кривая 1) и против часовой (кривая 2) стрелки аналогичны приведенным на рис. 3а. Линии кажутся повернутыми в противоположную сторону от дополнительных при ориентации референтных линий 87°.

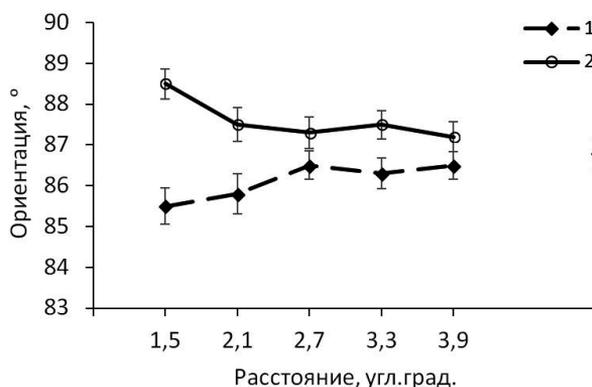


Рис. 4. Оценка ориентации в зависимости от расстояния до дополнительных линий: ось абсцисс — расстояние между центрами референтной и дополнительных линий; ось ординат — усредненная по данным трех наблюдателей кажущаяся ориентация линий при повороте дистракторов по и против часовой стрелки (1 и 2); изолированная точка справа — оценка ориентации линии без дистракторов; вертикальные линии — ошибки среднего



Иллюзия наклона уменьшается при увеличении расстояния, но полностью не исчезает. Расхождения в величинах достоверно не отличаются от оценок ориентации изолированных линий при расстоянии в 1,1 раза превосходящем длину линии, которое соответствует расстоянию 2,7 угл. град. на рис. 4 (для этих средних значений по критерию Стьюдента у каждого наблюдателя: $t[3] < 3,1; p > 0,05$). То есть можно предположить, что без введения в конструкцию Парфенона поправки в виде наклона колонн к центру они могут восприниматься как расходящиеся. Сходимость же колонн может приводить к возникновению иллюзии ВГ (рис. 16, г).

Оценка кривизны линий. Данные по оценке кривизны отдельных линий и линий в иллюзии ВГ также успешно аппроксимированы нормальными распределениями ($p > 0,05$ по методу s^2 для разниц в значениях этих функций). Двухфакторный дисперсионный анализ не выявил достоверных различий в стандартных отклонениях и средних значениях у трех наблюдателей (для обоих показателей: $F[2] < 3,12; p > 0,05$), что позволило усреднить данные наблюдателей.

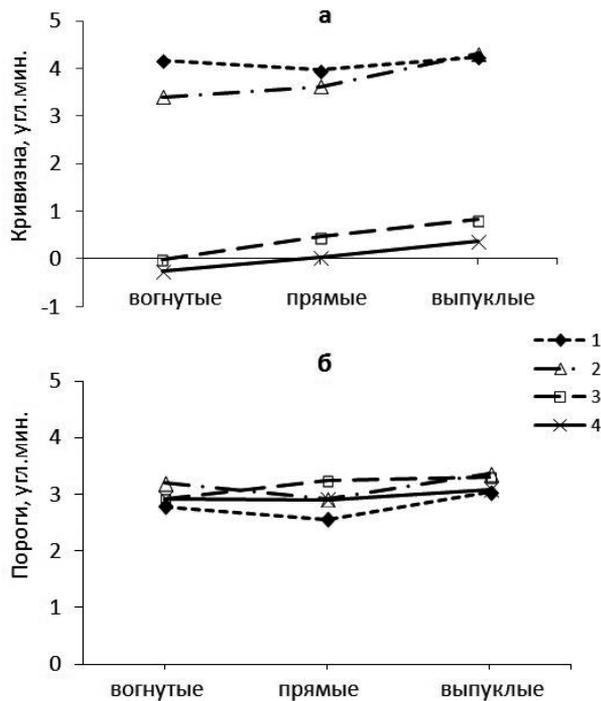


Рис. 5. Оценка кривизны для слегка вогнутых, прямых и выпуклых линий: а — оценки кривизны в иллюзии ВГ (кривые 1, 2) и линий в отсутствие веера (кривые 3, 4) в горизонтальной (1, 3) и вертикальной (2, 4) ориентациях; б — пороги оценки кривизны для тех же стимулов

На рис. 5а показаны величины средних оценок кривизны, вычисленные как разности между средними значениями полученных нормальных распределений и физической кривизной референтных стимулов, отдельно для вогнутых, прямых и выпуклых референтных линий. Оценки выражены в угловых минутах как величины разности d между кажущимся удалением от прямой линии в середине кривой и физическим. Каждая кривая отражает данные отдельных экспериментов по оценке кривизны горизонтальных (кривые 1, 3) или вертикальных (кривые 2, 4) линий в присутствии веера (1, 2) или без него (3, 4). Оценка кри-



визны — разная в иллюзии ВГ и для отдельных линий. Все линии кажутся более выпуклыми в иллюзии ВГ, в то время как для отдельных линий кривизна оценивается без искажений. Иллюзия практически одинакова для горизонтальной и вертикальной ориентаций и не зависит от кривизны линий ($F[1] = 6,2$; $F[2] = 1,9$; $p > 0,1$). Пороги различения кривизны также не зависят от этих параметров (рис. 5б) во всех случаях ($F[3] = 4,47$; $F[2] = 4,71$; $p > 0,05$).

Обсуждение результатов

Иллюзии наклона и Вундта—Геринга. В работе проведены исследования по изучению иллюзий наклона и ВГ. Показано, что величина иллюзии ВГ одинакова в вертикальной и горизонтальной ориентации, что противоречит гипотезе Корена [25] о том, что иллюзия может возникать из-за переоценки длины вертикальных линий по сравнению с наклонными и горизонтальными. Результаты свидетельствуют, скорее, в пользу предположения о связи иллюзии ВГ с иллюзией наклона. Иллюзия наклона колеблется в пределах $1-2^\circ$ в обоих экспериментах, что сопоставимо с результатами других авторов [19; 44]. Выявлен эффект отталкивания: линии воспринимаются повернутыми в сторону, противоположную к дополнительным. Иллюзия уменьшается при увеличении расстояния до дополнительных линий. При расстоянии между референтной линией и дистракторами, в 1,1 раза превосходящем длину линии, искажение в восприятии не отличается достоверно от оценки ориентации одиночной линии. Такая величина согласуется с расстоянием влияния рамки на оценку наклона жезла [3] в иллюзии жезла и рамки. Таким образом, без коррекции в наклоне колонны Парфенона могут восприниматься как расходящиеся.

Полученные в иллюзии ВГ данные подтвердили наши предыдущие результаты [4] о влиянии на восприятие кривизны изображения веера. Кривизна слабо искривленных линий оценивается без искажений в отсутствие добавочного изображения. То есть колонны могут восприниматься выпуклыми, а не прямыми. В схеме Парфенона (рис. 1г) веер повернут на 180° по отношению к использованному нами в экспериментах. Поэтому линии стилобата соответствует наша вогнутая линия. Кривизна вогнутой линии преувеличивается на $4,18$ угл. мин (рис. 5а). При исходной кривизне в $-3,8$ угл. мин она воспринимается практически как прямая, поскольку ее отклонение от прямой линии в центре дуги составляет всего $0,38$ угл. мин ($= 4,18 - 3,8$). Кривизна линии стилобата Парфенона немного меньше, чем мы использовали в экспериментах. Поэтому можно предположить, что эта линия воспринимается как прямая.

Античная архитектура. В настоящем исследовании мы попытались показать, что архитектура храма может компенсировать искажения зрительного восприятия. К аналогичному выводу еще в середине XIX века пришел английский математик Пеннеторн [39], производивший точное измерение всех составляющих этого храма. На рис. 6 показана схема, аналогичная приведенной в его работе и использованная Фритом [27]. На ней изображена гипотетическая двумерная проекция Парфенона без поправки на кривизну и наклоны: колонны расходятся наверху, а линия стилобата вогнутая. Так, по мнению Пеннеторна, выглядел бы храм при отсутствии коррекции.

Но так ли однозначны эти выводы? По поводу архитектуры Парфенона высказываются различные мнения. Большое предпочтение отдают оптическим искажениям, возникающим из-за различий в размере зрительного угла при осмотре отдельных частей храма [10]. Например, угловые колонны немного шире остальных. Однако за счет меньшего угла, который они занимают при фронтальном ракурсе осмотра, эти колонны могут казаться та-

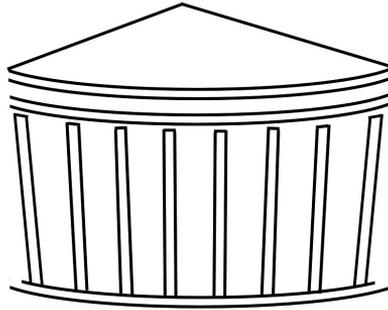


Рис. 6. Гипотетический вид проекции Парфенона без коррекции наклона колонн и кривизны стилобата

кими же. Существует и другая точка зрения на происхождение различий в ширине колонн. Боковые колонны ярче освещены, чем остальные. Известно, что одинаковые по размеру светлые предметы кажутся больше, чем темные. Поэтому на более ярком фоне боковые колонны могут казаться тоньше остальных [7]. Не исключены и чисто технические причины: на боковые колонны падает бóльшая нагрузка, то же самое можно сказать и о наклоне боковых колонн внутрь. Возможно, что и стилобат сделан выпуклым из чисто практических соображений — чтобы не скапливалась вода после дождя и т. п. Почему архитекторы ввели те или иные поправки в проект, нам неизвестно. Ясно, что они учитывали эстетику восприятия. Свидетельством этого как раз может служить выпуклость колонн (энтазис), которую наблюдатель замечает на близком расстоянии, но это ему нравится.

В архитектуру храма внесены и другие элементы, которые позднее также были описаны как оптические иллюзии. Так, все колонны — не однородные, а с продольными выемками-каннелюрами. Каннелюры создают оптическую иллюзию Оппель—Кундта [20; 26], приводящую к кажущемуся увеличению ширины колонн. Но каннелюры могли быть использованы для создания лучшего впечатления, придания разнообразия изображению здания. Кроме того, они увеличивают периметральную поверхность, и за счет этого возрастает прочность сооружения. Большую толщину угловых колонн можно также рассматривать с точки зрения искажения оценки ширины образованного параллельными линиями пространственного интервала, происходящего в присутствии боковых линий [21].

Следует заметить, что в зависимости от расстояния и ракурса на фотографиях Парфенона могут быть видны или не заметны введенные поправки. Издали все колонны выглядят совершенно одинаково, разница между ними обнаруживается только при непосредственном измерении. В этом нет ничего удивительного, так как при большом расстоянии все эти незначительные поправки оказываются ниже порогов различения. Поэтому вопрос о мотивах внесения поправок в проект храма остается открытым. Возможно, учитывались все перечисленные причины, что делает его еще более замечательным.

Классическая архитектура. Несколько слов о классической архитектуре. Полные аналоги Парфенона, насколько нам известно, отсутствуют. Используются только отдельные элементы. Как правило, колонны сооружений выпуклые и сужаются кверху. Они могут иметь и наклон. На Парфенон, с нашей точки зрения, частично похоже здание Биржи в Санкт-Петербурге (рис. 7а). По сравнению с Парфеноном здание выстроено с другими пропорциями, но колонны выпуклые и сужаются кверху. Возможно, это только нам кажется, но линия карниза выглядит немного провисающей, т. е., видимо, проявляется иллюзия ВГ.

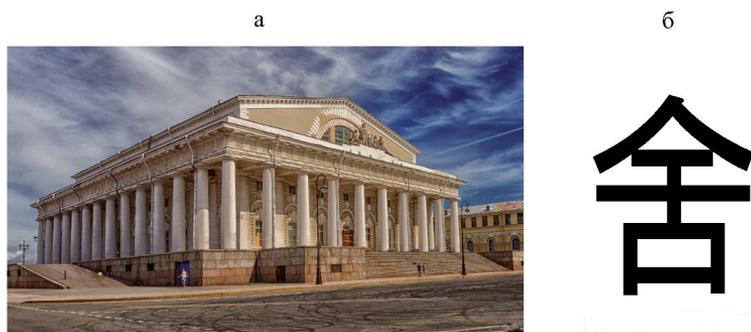


Рис. 7. Здание Биржи в Санкт-Петербурге и китайский иероглиф, отвечающий за понятие «дом»

Эстетика восприятия. Архитектура является одним из видов искусств, поэтому необходимо учитывать эстетическую составляющую ее восприятия, основой которой является красота. Экспериментальный подход к эстетике восходит еще к работам великого психолога Густава Фехнера. Фехнер рассматривал предпочтения наблюдателей на предъявление отдельных стимулов. В современной экспериментальной психологии проводятся исследования по проверке теории Берлайна [18] о связи между красотой и сложностью изображений. По результатам экспериментов [18; 30; 32; 34; 41] зависимость оценки красоты от сложности может быть как линейной (чем сложнее изображение, тем оно красивее), так и колоколообразной (сначала с увеличением сложности оценка красоты увеличивается, а затем уменьшается).

Ранее мы проводили групповые исследования по экспериментальной оценке сложности и ее моделированию [24]. Оказалось, что эта оценка неоднозначна, зависит от алфавита изображений. Для контурных изображений оценки сложности скоррелированы с количеством перегибов в изображениях [17]. Для китайских иероглифов лучшее приближение получено при учете произведения квадрата медианы амплитудного спектра изображений на площадь изображения при одинаковом размере стимулов или произведения медианы на периметр изображения. Увеличение медианы спектра означает, что изображения имеют более широкий пространственно-частотный спектр со сдвигом в область высоких частот, т. е. имеют больше различных по форме и размеру деталей в своем составе.

Проекции зданий, скорее, подобны алфавиту иероглифов. Схожесть иероглифов со зрительными изображениями можно наблюдать на примере иероглифа, отвечающего за понятие «дом» (рис. 7б). В настоящем исследовании мы не проводили спектральный анализ изображений и оценку их сложности. Но если сравнить здания, построенные в классическом стиле, с современными домами, то современные строения однообразны, имеют определенную периодичность, т. е. упрощенный спектр. Большинство из них не кажутся эстетичными.

Суждение о красоте, безусловно, субъективно. Зависимость красоты от сложности применительно к архитектуре, скорее, колоколообразная. Примером архитектурного стиля с большой сложностью может служить эклектика (ярчайший представитель — собор Святого Семейства Гауди в Барселоне), а с малой сложностью — современные типовые многоквартирные здания с повторяющимися периодическими элементами. В этом плане классическая архитектура как нечто среднее, по нашему мнению, более удовлетворяет чувству прекрасного.

Практическая значимость. Настоящая работа направлена на применение результатов исследования к оценке восприятия архитектурных форм. Сооружения современной



архитектуры, с точки зрения исследователей [11; 12; 14], представляют агрессивную среду. Взаимодействие психологов, исследователей зрительного восприятия и архитекторов при создании проектов представляется весьма плодотворным. Например, в настоящее время распространенным приемом в строительстве является раскраска многоэтажных домов, объединяющая большие блоки зданий. Но при этом часто используется неподходящее сочетание цветов. Восприятие цвета тесно связано с эмоциональными реакциями наблюдателей [33; 38], поэтому его использование требует тщательной проработки. Однако работу по оценке зрительного восприятия зданий проводят часто только строители и архитекторы [9; 16].

Нам представляется, что для психологов открывается широкое поле деятельности, связанное с сопоставлением различных стилей архитектуры. Можно оценивать психологическое состояние наблюдателей при предъявлении различных изображений строений, не обязательно учитывая множественные показатели [6]. Например, оценивать уровень тревожности и предпочтения изображений — насколько нравится то или иное строение. Большое внимание нужно уделять цветовой окраске современных зданий. В классической архитектуре часто используют желтый и пастельные цвета, которые действуют успокаивающе. Желтый ассоциируется с удовольствием и радостью [33; 38]. Об этом еще ранее писал Иоганн Вольфганг Гёте в своем «Учении о цвете» [5]. Умелое сочетание цветовых фрагментов могло бы сделать намного привлекательнее типовые современные жилые здания. Но это предмет отдельного исследования.

Заключение

В классической архитектуре присутствуют элементы, которые могут вызывать возникновение зрительных иллюзий. В исследовании рассмотрены иллюзия наклона и модифицированная иллюзия ВГ, определены их характеристики. В иллюзии наклона для углов, близких к наклону колонн Парфенона, линии кажутся повернутыми в противоположную сторону от дистракторов. Это искажение восприятия проявляется на относительно больших расстояниях. Иллюзия ВГ оказалась одинаковой для горизонтальных и вертикальных прямых, слегка вогнутых или выгнутых линий, что противоречит гипотезе о возникновении этой иллюзии из-за переоценки длины вертикальных линий. Скорее, искривление линий возникает из-за иллюзии наклона. Изгибу линии стилобата Парфенона соответствует вогнутая линия, использованная в качестве стимула в нашем исследовании. Такая линия воспринимается как прямая. В то же время выявлено влияние контекста на оценку кривизны. Кривизна оценивается адекватно в отсутствие изображения веера, т. е. с относительно небольших расстояний должна быть заметна выпуклость колонн. Предполагается, что внесение таких изменений в архитектуру может быть связано с эстетикой восприятия. В целом, архитектура Парфенона компенсирует искажения в зрительном восприятии. Она взята за основу классической архитектуры. Взаимодействие психологов и архитекторов при создании новых проектов представляется весьма плодотворным.

Литература

1. *Бондарко В.М.* Иллюзия наклона и ориентационная чувствительность // Физиология человека. 2020. Том 46. № 2. С. 25–34.
2. *Бондарко В.М., Бондарко Д.В., Солнушкин С.Д., Чихман В.Н.* Связь иллюзии Вундта–Геринга с иллюзией наклона и оценкой длины проекций наклонных линий // Физиология человека. 2019. Том 45. № 4. С. 30–39.



3. Бондарко В.М., Семенов Л.А. Иллюзия жезла и рамки в зависимости от расстояния между ними // Сенсорные системы. 2012. Том 26. № 2. С. 124–132.
4. Бондарко В.М., Солнушкин С.Д., Чихман В.Н. Оценка кривизны и архитектура Парфенона // Оптический журнал. 2021. Том 88. № 6. С. 15–22.
5. Гёте И.В. Учение о цвете. Теория познания: пер. с нем. 3-е изд. М.: Книжный дом «Либроком», 2012. 200 с.
6. Капцевич О.А. Смысловые аспекты восприятия различных типов жилых зданий по результатам ассоциативного эксперимента // Экспериментальная психология. 2022. Том 15(1). С. 103–121.
7. Комарова А.А. Приемы создания оптических иллюзий в архитектуре // Молодой исследователь Дона. 2017. Том 6(9). С. 52–55.
8. Поляков Е.Н., Полякова О.П. Оптические коррекции в античной архитектуре // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. Том 46(5). С. 19–33.
9. Реутская И.П., Алави А.М., Перминова А.А. Визуальное восприятие как фактор формирования архитектурной композиции жилых зданий // Вестник Полоцкого государственного университета. 2009. Том 12. С. 7–15.
10. Стафеев С.К., Томилин М.Г. Пять тысячелетий оптики. Т. 2: Античность. СПб: ФормаТ, 2010. 528 с.
11. Столяров Н.Н. Историческая трансформация представлений зодчих о правильности архитектуры, гармонии, красоте // Региональные архитектурно-художественные школы. 2014. Том 5(4). С. 342–347.
12. Филлин В.А. Видеоэкология. Что для глаза хорошо, а что — плохо. М.: Видеоэкология, 2006. 512 с.
13. Чихман В.Н., Бондарко В.М. Оценка ориентации линий в зависимости от набора дополнительных изображений // Экспериментальная психология. 2021. Том 14. № 1. С. 64–79.
14. Шаймарданова К.А. Влияние визуальной среды города на психологическое состояние и здоровье человека: особенности восприятия пространства // Актуальные проблемы дизайна и дизайн-образования: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 15–16 апр. 2020 г. В 2 ч. Ч. 2 / Белорус. гос. ун-т; редкол.: Х.С. Гафаров (гл. ред.). Минск: БГУ, 2020. С. 198–208.
15. Шпилевая Ю.Р., Горovenko Л.А. Использование оптических иллюзий в архитектуре // Прикладные вопросы точных наук. 2018. Том 3. С. 19–22.
16. Шумейко В.И., Левшеков С.С. Храмовая архитектура как элемент видеоэкологии населенных пунктов // Науковедение: Интернет-журнал. 2017. Том 9(4). С. 1–15.
17. Attneave F. Physical determinants of the judged complexity of shapes // J. Experimental Psychology. 1957. Vol. 53. P. 221–227.
18. Berlyne D.E. Studies in the new experimental aesthetics: Steps toward an objective psychology of aesthetic appreciation. New York: Wiley, 1974. 348 p.
19. Blakemore C., Carpenter R.H.S., Georgeson M.A. Lateral inhibition between orientation detectors in the human visual system // Nature. 1970. Vol. 228. № 5266. P. 37–39.
20. Bulatov A., Bertulis A., Mickiene L. Geometrical illusions: Study and Modelling // Biological Cybernetics. 1997. Vol. 77. P. 395–406.
21. Burbeck C.A., Hadden S. Scaled position integration areas: accounting for Weber's law for separation // J. Opt. Soc. Am., A. 1993. Vol. 10. P. 5–15.
22. Campbell F.W., Maffei L. The tilt aftereffect: A fresh look // Vision Res. 1971. Vol. 11. P. 833–844.
23. Carpenter R.H.S., Blakemore C. Interaction between orientation in human vision // Exp. Brain Res. 1973. Vol. 18. P. 287–303.
24. Chikhman V.N., Bondarko V.M., Danilova M.V., Goluzina A.G., Shelepin Y.E. Complexity of images: Experimental and computational estimates compared // Perception. 2012. Vol. 41. P. 631–647.
25. Coren S. Lateral inhibition and the Wundt-Hering illusion // Psychonomic Science. 1970. Vol. 18. P. 341–356.
26. Coren S., Girgus J.S. Seeing is deceiving: The psychology of visual illusions. Oxford, England: Lawrence Erlbaum, 1978. 255 p.
27. Frith C.D. Making up the mind: how the brain creates our mental world. Malden: Blackwell publ., 2007. 234 p.
28. Gibson J.J. Adaptation, after-effect, and contrast in the perception of tilted lines. II. Simultaneous contrast and the real restriction of the after-effect // J. Exp. Psychology. 1937. Vol. 20. P. 553–569.
29. Gibson J.J., Radner M. Adaptation, after-effect and contrast in the perception of tilted lines // J. Exp. Psychology. 1937. Vol. 20. P. 453–467.



30. Haber R.N. Visual perception // Annual Review of Psychology. 1978. Vol. 29. P. 31–59.
31. Hering E. Beitrage zur Physiologie. I. Zur Lehre vom Ortssinne der Netzhaut. Leipzig: Engelmann, 1861. 188 p.
32. Inagami M. Relationship between the complexity, beauty, and file size of compressed images of Japanese Zen gardens // Perception. 2021. Vol. 50. № 1. Suppl. P. 219.
33. Kumarasamy J., Apayee P.D., Subramaniam M. Emotion and expression responses through colour: A Literature Review // SSRN. 2014. DOI:10.2139/ssrn.2435741
34. Messinger S.M. Pleasure and complexity: Berlyne revisited // J. Psychology. 1998. Vol. 132(5). P. 558–560.
35. Morgan M.J., Mason A.J.S., Baldassi S. Are there separate first-order and second-order mechanisms for orientation discrimination? // Vision Res. 2000. Vol. 40. P. 1751–1763.
36. Over R., Broerse J., Crassini B. Orientation illusion and masking in central and peripheral vision // J. Exp. Psychol. 1972. Vol. 96. P. 25–31.
37. O'Toole B., Wenderoth P. The tilt illusion: Repulsion and attraction effects in the oblique meridian // Vision Res. 1977. Vol. 17. P. 367–374.
38. Ou Li-Chen, Luo M.R, Woodcock A., Wright A. A study of colour emotion and colour preference. Part I: Colour emotions for single colours // Color Research & Application. 2004. Vol. 29(3). P. 232–240.
39. Pennethorne J. The Elements and Mathematical Principles of the Greek Architects and Artists Recovered by an Analysis and Study of the Remaining Works of Architecture. London: William Clowes and Sons, 1844. P. 21–49.
40. Prinzmetal W., Beck D.M. The tilt-constancy theory of visual illusions // J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform. 2001. Vol. 27. P. 206–217.
41. Silvia P.J. Cognitive appraisals and interest in visual art: Exploring an appraisal theory of aesthetic emotions // Empirical studies of the arts. 2005. Vol. 23(2). P. 119–133.
42. Solomon J.A., Morgan M.J. Strong tilt illusions always reduce orientation acuity // Vision Res. 2009. Vol. 49. P. 819–824.
43. Tolhurst D.J., Thompson P.G. Orientation illusions and aftereffects: Inhibition between channels // Vision Res. 1975. Vol. 15. P. 967–972.
44. Wenderoth P., O'Connor T., Johnson S. The tilt illusion as a function of the relative and absolute lengths of test and inducing lines // Percept. Psychophys. 1986 Vol. 39. P. 339–345.
45. Wundt W. Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. Leipzig: Wintersche Verlag, 1862. 234 p.

References

1. Bondarko V.M. Illusia naklona i orientazionnaya chuvstvitel'nost'. *Fiziologiya cheloveka*, 2020. Vol. 46, no. 2, pp. 25–34. (In Russ.).
2. Bondarko V.M., Bondarko D.V., Solnushkin S.D., Chikhman V.N. Svyaz illyuzii Vundta-Geringa s illyuziyey naklona i otsenkoy dliny proyektsiy naklonnykh liniy. *Fiziologiya cheloveka*, 2019. Vol. 45, no. 4, pp. 30–39. (In Russ.).
3. Bondarko V.M., Semenov L.A. Illyuziya zhezla i ramki v zavisimosti ot rasstoyaniya mezhdu nimi. *Sensornyye sistemy*, 2012. Vol. 26, no. 2, pp. 124–132. (In Russ.).
4. Bondarko V.M., Solnushkin S.D., Chikhman V.N. Otsenka krivizny i arkhitektura Parfenona. *Opticheskiy zhurnal*, 2021. Vol. 88, no. 6, pp. 15–22. (In Russ.).
5. Goethe I.W. Ucheniye o tsvete. Teoriya poznaniya: per. s nem. Izd. 3-ye. M.: Knizhnyy dom «Librokom», 2012. 200 p. (In Russ.).
6. Kaptsevich O.A. Smyslovyye aspekty vospriyatiya razlichnykh tipov zhilykh zdaniy po rezul'tatam assotsiativnogo eksperimenta. *Eksperimental'naya psikhologiya*, 2022. Vol. 15(1), pp. 103–121. (In Russ.).
7. Komarova A.A. Priyomy sozdaniya opticheskikh illyuziy v arkhitekture. *Molodoy issledovatel' Dona*, 2017. Vol. 6(9), pp. 52–55. (In Russ.).
8. Polyakov Ye.N., Polyakova O.P. Opticheskiye korrektsii v antichnoy arkhitekture. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2014. Vol. 46(5), pp. 19–33. (In Russ.).
9. Reutskaya I.P., Alavi A.M., Perminova A.A. Vizual'noye vospriyatiye kak faktor formirovaniya arkhitekturnoy kompozitsii zhilykh zdaniy. *Vestnik Polotskogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 2009. Vol. 12, pp. 7–15. (In Russ.).



10. Stafeyev S.K., Tomilin M.G. Pyat' tysyacheletiy optiki. T.2: Antichnost'. SPb: FormaT, 2010. 528 p. (In Russ.).
11. Stolyarov N.N. Istoricheskaya transformatsiya predstavleniy zodchikh o pravil'nosti arkhitektury, garmonii, krasote. *Regional'nyye arkhitekturno-khudozhestvennyye shkoly*, 2014. Vol. 5(4), pp. 342–347. (In Russ.).
12. Filin V.A. Videoekologiya. Chto dlya glaza khorosho, a chto—plokho. M.: Videoekologiya, 2006. 512 p. (In Russ.).
13. Chikhman V.N., Bondarko V.M. Otsenka oriyentatsii liniy v zavisimosti ot nabora dopolnitel'nykh izobrazheniy. *Ekspperimental'naya psikhologiya*, 2021. Vol. 14, no. 1, pp. 64–79. (In Russ.).
14. Shaymardanova K.A. Vliyaniye vizual'noy sredy goroda na psikhologicheskoye sostoyaniye i zdorov'ye cheloveka: osobennosti vospriyatiya prostranstva. *Aktual'nyye problemy dizayna i dizayn-obrazovaniya: materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Minsk, 15–16 apr. 2020 g. V 2 ch. CH. 2 / Belarus. gos. un-t; redkol.: KH.S. Gafarov (gl. red.)*. Minsk: BGU, 2020. Pp. 198–208. (In Russ.).
15. Shpilevaya YU.R., Gorovenko L.A. Ispol'zovaniye opticheskikh illyuziy v arkhitekture. *Prikladnyye voprosy tochnykh nauk*, 2018. Vol. 3, pp. 19–22. (In Russ.).
16. Shumeyko V.I., Levshekov S.S. Khramovaya arkhitektura kak element videoekologii naseleennykh punktov. *Internet-zhurnal «Naukovedeniye»*, 2017. Vol. 9(4), pp. 1–15. (In Russ.).
17. Attneave F. Physical determinants of the judged complexity of shapes. *J. Experimental Psychology*, 1957. Vol. 53, pp. 221–227.
18. Berlyne D.E. Studies in the new experimental aesthetics: Steps toward an objective psychology of aesthetic appreciation. New York: Wiley, 1974. 348 p.
19. Blakemore C., Carpenter R.H.S., Georgeson M.A. Lateral inhibition between orientation detectors in the human visual system. *Nature*, 1970. Vol. 228, no. 5266, pp. 37–39.
20. Bulatov A., Bertulis A., Mickiene L. Geometrical illusions: Study and Modelling. *Biological Cybernetics*, 1997. Vol. 77, pp. 395–406.
21. Burbeck C.A., Hadden S. Scaled position integration areas: accounting for Weber's law for separation. *J. Opt. Soc. Am., A*, 1993. Vol. 10, pp. 5–15.
22. Campbell F.W., Maffei L. The tilt aftereffect: A fresh look. *Vision Res.*, 1971. Vol. 11, pp. 833–844.
23. Carpenter R.H.S., Blakemore C. Interaction between orientation in human vision. *Exp. Brain Res.*, 1973. Vol. 18, pp. 287–303.
24. Chikhman V.N., Bondarko V.M., Danilova M.V., Goluzina A.G., Shelepin Y.E. Complexity of images: Experimental and computational estimates compared. *Perception*, 2012. Vol. 41, pp. 631–647.
25. Coren S. Lateral inhibition and the Wundt-Hering illusion. *Psychonomic Science*, 1970. Vol. 18, pp. 341–356.
26. Coren S., Girgus J.S. Seeing is deceiving: The psychology of visual illusions. Oxford, England: Lawrence Erlbaum, 1978. 255 p.
27. Frith C.D. Making up the mind: how the brain creates our mental world. Malden: Blackwell publ., 2007. 234 p.
28. Gibson J.J. Adaptation, after-effect, and contrast in the perception of tilted lines. II. Simultaneous contrast and the real restriction of the after-effect. *J. Exp. Psychology*, 1937. Vol. 20, pp. 553–569.
29. Gibson J.J., Radner M. Adaptation, after-effect and contrast in the perception of tilted lines. *J. Exp. Psychology*, 1937. Vol. 20, pp. 453–467.
30. Haber R.N. Visual perception. *Annual Review of Psychology*, 1978. Vol. 29, pp. 31–59.
31. Hering E. Beitrage zur Physiologie. I. Zur Lehre vom Ortssinne der Netzhaut. Leipzig: Engelmann, 1861. 188 p.
32. Inagami M. Relationship between the complexity, beauty, and file size of compressed images of Japanese Zen gardens. *Perception*, 2021. Vol. 50, no. 1, Suppl., pp. 219.
33. Kumarasamy J., Apayee P.D., Subramaniam M. Emotion and expression responses through colour: A Literature Review. *SSRN*, 2014. DOI:10.2139/ssrn.2435741
34. Messinger S.M. Pleasure and complexity: Berlyne revisited. *J. Psychology*, 1998. Vol. 132(5), pp. 558–560.
35. Morgan M.J., Mason A.J.S., Baldassi S. Are there separate first-order and second-order mechanisms for orientation discrimination? *Vision Res.*, 2000. Vol. 40, pp. 1751–1763.



36. Over R., Broerse J., Crassini B. Orientation illusion and masking in central and peripheral vision. *J. Exp. Psychol.*, 1972. Vol. 96, pp. 25–31.
37. O'Toole B., Wenderoth P. The tilt illusion: Repulsion and attraction effects in the oblique meridian. *Vision Res.*, 1977. Vol. 17, pp. 367–374.
38. Ou Li-Chen, Luo M.R, Woodcock A., Wright A. A study of colour emotion and colour preference. Part I: Colour emotions for single colours. *Color Research & Application*, 2004. Vol. 29(3), pp. 232–240.
39. Pennethorne J. The Elements and Mathematical Principles of the Greek Architects and Artists Recovered by an Analysis and Study of the Remaining Works of Architecture. London: William Clowes and Sons, 1844. Pp. 21–49.
40. Prinzmetal W., Beck D.M. The tilt-constancy theory of visual illusions. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, 2001. Vol. 27, pp. 206–217.
41. Silvia P.J. Cognitive appraisals and interest in visual art: Exploring an appraisal theory of aesthetic emotions. *Empirical studies of the arts*, 2005. Vol. 23(2), pp. 119–133.
42. Solomon J.A., Morgan M.J. Strong tilt illusions always reduce orientation acuity. *Vision Res.*, 2009. Vol. 49, pp. 819–824.
43. Tolhurst D.J., Thompson P.G. Orientation illusions and aftereffects: Inhibition between channels. *Vision Res.*, 1975. Vol. 15, pp. 967–972.
44. Wenderoth P., O'Connor T., Johnson S. The tilt illusion as a function of the relative and absolute lengths of test and inducing lines. *Percept. Psychophys.*, 1986. Vol. 39, pp. 339–345.
45. Wundt W. Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. Leipzig: Wintersche Verlag, 1862. 234 p.

Информация об авторах

Бондарко Валерия Михайловна, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии зрения, Институт физиологии имени И.П. Павлова РАН (ФГБУН ИФ РАН), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7408-302X>, e-mail: ymbond@gmail.com

Солнушкин Сергей Дмитриевич, старший научный сотрудник лаборатории информационных технологий и математического моделирования, Институт физиологии имени И.П. Павлова РАН (ФГБУН ИФ РАН), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4009-6716>, e-mail: solnushkin@list.ru

Чихман Валерий Николаевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией информационных технологий и математического моделирования, Институт физиологии имени И.П. Павлова РАН (ФГБУН ИФ РАН), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4955-4608>, e-mail: V_C_pavlinst@mail.ru

Information about the authors

Valeria M. Bondarko, Dr.Sc. in Biology, Leading Researcher of Vision Physiology Laboratory, Pavlov Institute of Physiology of RAS, Saint Petersburg, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7408-302X>, e-mail: ymbond@gmail.com

Sergey D. Solnushkin, Senior Researcher of the Laboratory of Information Technology and Mathematical Modelling, Pavlov Institute of Physiology of RAS, Saint Petersburg, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4009-6716>, e-mail: solnushkin@list.ru

Valeriy N. Chikhman, PhD (Technical Sciences), Head of the Laboratory of Information Technology and Mathematical Modelling, Pavlov Institute of Physiology of RAS, Saint Petersburg, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4955-4608>, e-mail: V_C_pavlinst@mail.ru

Получена 14.07.2022

Received 14.07.2022

Принята в печать 01.09.2023

Accepted 01.09.2023