

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)»

На правах рукописи



Костоев Адам Тимурович

## **Автоматизация тестирования систематических ошибок зрительного восприятия**

2.3.8 – Информатика и информационные процессы

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:

д. ф-м. н., проф.

Цурков Владимир Иванович

Москва – 2025

## Оглавление

<b>Введение .....</b>	<b>4</b>
<b>Глава 1. Теоретико-методологические основания исследований зрительных иллюзий .....</b>	<b>11</b>
1.1. Развитие теоретических представлений о зрительных иллюзиях .....	12
1.2. Геометрические зрительные иллюзии .....	15
1.3. Теоретические гипотезы о возникновениях зрительных иллюзий .....	21
1.4. Методы и технологии исследования геометрических иллюзий .....	24
1.5. Программные средства для исследования геометрических иллюзий .....	29
1.6. Выводы к первой главе .....	36
<b>Глава 2. Процесс тестирования систематических ошибок зрительного восприятия .....</b>	<b>39</b>
2.1. Моделирование процесса тестирования .....	39
2.2. Проектирование системы тестирования .....	44
2.3. Выводы ко второй главе .....	50
<b>Глава 3. Автоматизированная система тестирования систематических ошибок зрительного восприятия .....</b>	<b>52</b>
3.1. Область и уровень техники предлагаемой системы .....	52
3.2. Предлагаемое техническое решение .....	55
3.3. Выводы к третьей главе .....	61
<b>Глава 4. Исследование геометрических иллюзий с использованием автоматизированной системы тестирования .....</b>	<b>63</b>
4.1. Постановка задачи исследования .....	63
4.2. Разработка тестовых материалов и измерительная процедура .....	69
4.3. Характеристика испытуемых .....	75

4.4. Статистическая обработка и анализ данных .....	76
4.5. Результаты тестирования.....	79
4.6. Выводы к четвертой главе .....	90
<b>Заключение .....</b>	<b>93</b>
<b>Список литературы.....</b>	<b>95</b>
<b>Список таблиц.....</b>	<b>111</b>
<b>Список рисунков.....</b>	<b>112</b>
<b>Приложение А. Таблицы числовых данных проведенных экспериментов....</b>	<b>115</b>
<b>Приложение Б. Свидетельства о полученных результатах интеллектуальной собственности .....</b>	<b>128</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Зрительное восприятие играет ключевую роль при обработке информации человеком. Понимание механизмов зрительного восприятия является важным фактором исследований в различных областях науки и техники: психологии, психофизиологии, искусственного интеллекта и др. [57, 60, 67, 82]. При этом известно, что восприятие человеком сенсорной информации – сложный процесс, подверженный различным ошибкам и искажениям. Неправильная трактовка видимого образа может быть связана с различными нарушениями зрительных органов чувств и обычно подразумевает индивидуальный характер восприятия человека.

Однако существуют и систематические неточности в восприятии, причины которых до сих пор остаются неоднозначными. Главное отличие подобных ошибок в том, что они не поддаются произвольной коррекции и закономерно проявляются у каждого человека. Такие явления восприятия называют зрительными (или оптическими) иллюзиями [5, 67, 78, 83]. Особый интерес для исследователей представляет класс геометрических иллюзий, возникающих при оценке свойств и параметров объектов, вызывающих искажения форм, размеров, наклонов, расстояний и других геометрических параметров фигур [83, 92]. Такой интерес вызван достаточно удобной процедурой количественной регистрации ошибочных оценок, позволяющий исследовать сложные механизмы зрительного восприятия [92].

Актуальность исследования также обуславливается влиянием зрительных геометрических иллюзий в различных сферах профессиональной и научной деятельности: психофизика и психология восприятия [59, 79, 83], оформление интерьеров и городского пространства [9, 21], дизайн и моделирование одежды [90] и др.

**Степень разработанности темы.** Систематическое изучение зрительных геометрических иллюзий началось с середины XIX века. Существенный вклад внесли такие ученые как J. Oppel, F. Muller-Lyer, J. Poggendorf, F. Zolner, W. Wundt, E. Hering, H. Ebbinghaus, H. Helmholtz, E. Titchener и др. [122, 123, 127, 139, 140,

151, 160]. Вышеперечисленными учеными открыты первые геометрические иллюзии, традиционно рассматриваемые в науке как классические.

В период XX века среди зарубежных и отечественных исследований стоит отметить работы И.Д. Артаманова [5], А.Л. Ярбуса [97, 98], В.Д. Глезера [29-32], R. Day [102-105], R. Gregory [37, 117-119], B. Gillam [108, 109], E. Greene [115, 116], H. Leibowitz [133-135] и др.

В настоящее время изучением искажений зрительного восприятия занимаются группы исследователей различных научно-исследовательских институтов. Особое место занимают работы сотрудников Института физиологии им. И.П. Павлова РАН, г. Санкт-Петербург: В.М. Бондарко, М.В. Данилова, В.Н. Чихман и др. [10-22].

Отдельного внимания заслуживают работы, осуществленные в Институте проблем передачи информации имени А. А. Харкевича РАН, г. Москва: Г.И. Рожкова, Е.А. Толмачева, В.В. Огнивов и др. [67-69, 76, 79-81].

Существенный вклад в изучение психологических механизмов возникновения зрительных иллюзий и их классификацией внесла Г.Я. Меньшикова (МГУ им. Ломоносова) [57-64]. Также стоит отметить работы Л.Н. Медведева, И.И. Шошиной, Е.С. Федоровой и др., занимающихся исследованием влияния индивидуальных свойств человека на возникновение искажений в зрительном восприятии [53-56, 83-87, 91-96].

Однако несмотря на давнюю историю изучения сенсорных ошибок восприятия, на сегодняшний день нет ни одной сформулированной гипотезы, позволяющей исключить противоречия хотя бы в объяснении основных закономерностей зрительного искажения при восприятии даже простых геометрических фигур. Одной из причин такого положения – недостаточно надежная процедура тестирования испытуемых, в связи с чем возникает необходимость в разработке методов количественного тестирования, дающих относительно высокую воспроизводимость результатов [92].

Важно отметить значимость разработки средств компьютерной поддержки для автоматизированных психофизиологических экспериментов, направленных на

изучение механизмов зрительного восприятия [89]. Основное внимание при разработке уделяется аспектам синтеза и сохранения изображений-стимулов, их предъявлению наблюдателям, а также анализу ответов в специализированных программах. В настоящее время отечественными и зарубежными авторами разработан ряд различного программного обеспечения (ПО) для проведения психофизиологических экспериментов [56, 67, 89, 92]. Однако большинство разрабатываемого ПО в области исследований зрительного восприятия в настоящее время является лишь инструментом для решений отдельных задач в рамках одного типа исследований. В связи с чем возникает необходимость в разработке общей методологии проведения экспериментов (тестирований) и системы, реализующей данную методологию.

Также присутствует необходимость в изучении влияния геометрических параметров на величину зрительных искажений. Важно понять при каких условиях зрительные иллюзии проявляются наиболее сильно, при каких исчезают совсем, каков характер зависимости иллюзии при варьировании геометрических характеристик, как компенсировать проявление иллюзии [72-75]. Детальный анализ всех тонкостей проявления зрительных иллюзий в зависимости от их геометрических параметров позволит, в свою очередь, найти более однозначные ответы на вопросы о механизмах возникновения зрительных иллюзий.

**Целью исследования** является автоматизация процесса тестирования и статистического анализа данных систематических ошибок зрительного восприятия, возникающих при оценке человеком геометрических иллюзий.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих **задач исследования:**

1. Построить и описать модель тестирования систематических ошибок зрительного восприятия как информационный процесс;
2. Разработать методологию и автоматизированную систему тестирования систематических ошибок зрительного восприятия, позволяющие осуществлять исследования геометрических иллюзий при различной постановке задачи;

3. Используя предложенную методологию и систему тестирования определить статистические зависимости иллюзий Поггендорфа, Мюллера-Лайера и Вунда-Фика от их основных геометрических характеристик;

4. Построить регрессионные модели, наиболее адекватно описывающие зависимости иллюзий от их основных геометрических характеристик;

5. Выявить зависимость геометрических иллюзий от ориентационных характеристик тест-объектов;

6. Построить регрессионные модели, наиболее адекватно описывающие зависимости иллюзий от их ориентационных характеристик.

**Методология и методы исследования.** Для решения поставленных задач и выполнения цели исследования используются: методы разработки и проектирования программного обеспечения, эксперимент (в форме тестирования), статистическая обработка данных, методы корреляционного и регрессионного анализа данных, проверка статистических гипотез.

**Научная новизна исследования.**

1. Впервые разработана модель тестирования зрительных иллюзий в виде информационного процесса;

2. Построены регрессионные модели зависимостей ошибок от геометрических параметров иллюзий Поггендорфа, Мюллера-Лайера и Вунда-Фика;

3. Впервые проанализированы модификации иллюзий Поггендорфа, Мюллера-Лайера и Вунда-Фика, с учетом вращения всей тестовой конструкции;

4. Выдвинуты и подтверждены гипотезы о тригонометрическом характере геометрических иллюзий при повороте тест-объектов.

**Теоретическая и практическая значимость.**

Результаты, изложенные в диссертации, используются в научной работе лаборатории психологии познавательных процессов и математической психологии ИП РАН. Разработанные методология и автоматизированная система включены в научный процесс сбора результатов тестирования на восприятие геометрических иллюзий.

Результаты диссертационной работы используются также в учебном процессе и научно-исследовательской работе (НИР) кафедры искусственного интеллекта, прикладной математики и программирования ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина». Разработанные методология и автоматизированная система тестирования систематических ошибок зрительного восприятия включены в процесс осуществления производственной практики «Технологическая (проектно-технологическая) практика», проводимой студентам кафедры. В рамках НИР 2019-2023 гг. в ходе выполнения темы «Разработка интеллектуальной организационно-технической системы для поддержки целенаправленной деятельности» получено 3 патента и зарегистрировано 3 программы для ЭВМ. Полученные результаты используются также в НИР 2024-2028 гг. в ходе выполнения темы «Новые методы и модели передачи, обработки, хранения и анализа данных».

Результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, также нашли практическое применение в деятельности компании ООО «Салюте-дизайн», специализирующейся на разработке и производстве одежды. В частности, они используются при моделировании и проектировании изделий для людей с асимметричной антропометрией. Внедрение полученных научных данных позволяет более точно учитывать индивидуальные морфологические особенности фигуры, повышая эргономичность, комфорт и эстетическую выразительность создаваемой продукции. Это способствует оптимизации процессов конструирования и улучшению потребительских характеристик одежды для данной категории пользователей.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Тестирование систематических ошибок зрительного восприятия представлено как информационный процесс. Предложена методика проведения тестирования;
2. Спроектирована автоматизированная система тестирования систематических ошибок зрительного восприятия, позволяющая проводить эксперименты с различными иллюзиями в рамках единой методики;
3. Работа системы подтверждена проведением исследования иллюзий Поггендорфа, Мюллера-Лайера и Вунда-Фика. Получены характеры зависимости



иллюзии от геометрических признаков, которые не противоречат существующим исследованиям;

4. Проведены исследования новой модификации иллюзий Поггендорфа, Мюллера-Лайера, Вунда-Фика – вращение. Получены статистические зависимости величины иллюзий от угла поворота тест-объектов в пространстве;

5. Получены статистические модели зависимостей для всех исследуемых вариантов иллюзий Поггендорфа, Мюллера-Лайера и Вунда-Фика от их геометрических параметров.

**Степень достоверности и апробация работы.** Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивается: обширным анализом работ в области исследования зрительных иллюзий; описанием и воспроизводимостью экспериментов, проведенных в форме тестирования зрительного восприятия испытуемых в условиях возникновения геометрических иллюзий; корректным применением математического аппарата корреляционно-регрессионного анализа данных и проверкой статистических гипотез, корректным использованием современных средств программирования и методов проектирования программного обеспечения; согласованностью результатов проведенных экспериментальных исследований с известными теоретическими положениями в области зрительного восприятия; публикациями результатов в рецензируемых изданиях, в том числе рекомендованных ВАК; патентами на изобретения и полезную модель, подтверждающие работоспособность и воспроизводимость предложенной системы тестирования.

Основные результаты исследования докладывались на следующих конференциях: 31st International Conference of Young Scientists and Students «Topical Problems of Mechanical Engineering», Moscow, Russia, 2019; Постоянно действующий семинар кафедры прикладной математики и программирования ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина «Теория систем», Москва, 2020, 2022, 2023, Москва, Россия; Всероссийская научная конференция молодых исследователей с международным участием, Москва, 2022.

**Публикации.** По теме диссертационного исследования опубликовано 16 работ: 5 работ в изданиях, входящих в перечень ВАК (категории K1 и K2) и/или

Scopus; 5 работ в сборниках трудов конференций, индексируемые в РИНЦ. Также получено 2 патента на изобретение, 1 патент на полезную модель и 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

**Соответствие паспорту научной специальности.** Содержание диссертации и направленность полученных результатов соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 2.3.8 «Информатика и информационные процессы» (технические науки):

1. Разработка компьютерных методов и моделей описания, оценки и оптимизации информационных процессов и ресурсов, а также средств анализа и выявления закономерностей на основе обмена информацией пользователями и возможностей используемого программно-аппаратного обеспечения;

16. Автоматизированные информационные системы, ресурсы и технологии по областям применения (научные, технические, экономические, образовательные, гуманитарные сферы деятельности), форматам обрабатываемой, хранимой информации. Системы принятия групповых решений, системы проектирования объектов и процессов, экспертные системы и др.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографии, списка рисунков и таблиц, приложений. Общий объем диссертации 114 страниц (без учета приложений), из них 94 страниц текста, включая 43 рисунка и 15 таблиц. Библиография включает 160 наименований на 16 страницах.

## **ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗРИТЕЛЬНЫХ ИЛЛЮЗИЙ**

Зрительное восприятие является ключевым процессом в познании окружающего мира. Советский психолог Б.Г. Ананьев утверждает, что зрительная система является доминирующей среди всех человеческих органов чувств, к тому же «она обладает поразительной способностью превращать незримое в зримое, визуализировать любые чувственные сигналы» [3].

Однако процесс зрительного восприятия может нарушаться вследствие возникновения ряда причин, как физиологических, так и психологических. В связи с этим возникают различного рода ошибки в визуализации объектов. Такие ошибки могут быть связаны с разрешающей способностью органов чувств, при этом величина ошибки меньше порога восприятия или со случайными факторами, повлиявшими на процесс восприятия. В этом случае ошибки оценки метрических величин носят случайный характер, симметричный в смысле завышения или занижения оцениваемой величины. Помимо случайных ошибок существуют ошибки систематические, называемые иллюзиями.

В широком понимании иллюзии трактуются как «неадекватные представления о воспринимаемом объекте, выходящие за пределы обычных ошибок восприятия, преимущественно неосознанные и не поддающиеся произвольной коррекции» [38]. К зрительным иллюзиям относят явные ошибки в оценке размера, формы, локализации, характера движения и других параметров и свойств объектов [83]. При этом, возникающие ошибки зрительного восприятия, как в своей работе точно подмечает И.И. Шошина, «бывают настолько убедительны, что, как правило, их крайне трудно корректировать по собственному желанию, даже если испытуемый осведомлён о фактическом виде рассматриваемого объекта» [92, с. 8].

Особое место среди всех объектов, зрительно воспринимаемых искажённо, занимают относительно простые плоские изображения, создающие геометрические иллюзии. К таким иллюзиям относят систематические отклонения геометрии воспринимаемого образа от объективных параметров рассматриваемой

метрической конфигурации. Эти отклонения могут касаться оценки размеров или площади фигуры, наклона или кривизны прямых линий, взаимного расположения деталей, пропорций и др. [5, 10, 14, 72-76]. Геометрические иллюзии достаточно легко поддаются количественной оценке и поэтому широко применяются для исследования зрительного восприятия.

Процесс исследования геометрических иллюзий, какими они представляются на сегодняшний день, начался с середины XIX века. До этого времени подобные явления зрительного восприятия, начиная с древности, изучались в общих случаях в философии, искусстве, архитектуре и затем уже в науке.

В настоящей главе приведена историческая справка о развитии теорий зрительного восприятия, начиная с Античности и заканчивая современными исследованиями. Представлены основные геометрические иллюзии, ставшие классическими для современных исследований в области зрительного восприятия человека.

Описана проблема, связанная с гипотезами о механизмах возникновения зрительных иллюзий. Основное внимание в главе уделяется обзору методов исследования зрительных иллюзий и разработанного программного обеспечения (ПО) для осуществления экспериментов, направленных на зависимость геометрических иллюзий от различных факторов, влияющих на их величину и выраженность.

### **1.1. Развитие теоретических представлений о зрительных иллюзиях**

Изучение явлений, возникающих в сенсорном восприятии, имеет очень давнюю историю. Начиная с Античности и продолжая в современную эпоху компьютерных технологий, феномен иллюзии занимает важную роль в исследованиях, посвящённых зрительному восприятию и оптике.

Так, в Античности о подобных явлениях упоминали ещё такие философы и мыслители как Платон, Аристотель, Лукреций и другие [4, 71, 51]. Г.Я. Меньшикова отмечает, что «Аристотелем были разработаны первые теоретические представления о зрительных иллюзиях» [59, с. 79]. Размышляя о данном феномене зрения, Аристотель полагал, что причина их возникновения может быть сопряжена с

ошибками умственных представлений о воспринимаемом объекте, то есть он связывает возникновение иллюзий с ошибками в интерпретации видимого образа, возникающие в человеческом сознании.

В Средние века проблемой зрительного восприятия занимался ряд арабских учёных в лице Аль-Кинди, Хунайна ибн-Исхака, Альхазена и др. [125, 147]. На западе в это время оптикой занимались в основном Р. Бэкон, Р. Гроссетест и Витело.

Наиболее ярким представителем средневековой оптики является Альхазен, ставший основоположником экспериментальной науки. Он написал фундаментальный трактат под названием «Сокровище оптики», ставший основным источником исследования в данной области не только среди учёных его эпохи, но также и позднее в рамках развития ренессансной науки. Трактат представляет собой собрание из семи книг, три из которых посвящены глазу и зрению. Особый интерес представляют третья и четвертая книги трактата, в которых уделено внимание ошибкам зрения и зрительным иллюзиям [147].

В теориях Возрождения, как в своей работе отмечает Е.В. Павлова «зрительный образ расценивался как световое подобие вещи, а возникновение зрительной иллюзии считалось следствием присутствия света. Законы оптики, в свою очередь, влияли на понимание пластического образа и становились органическими компонентами художественной практики» [70, с. 18].

Наиболее значимыми деятелями в области развития ренессансной теории зрительного восприятия, в частности оптических явлений, являлись Леон Баттиста Альберти и Леонардо да Винчи, благодаря которым оптика из сферы философских умозаключений перерастает в науку, опирающуюся на экспериментальное исследование. В частности, ими исследуются теории перспективы, представления о функциях зрительных органов чувств и зрительных лучах [2, 49]. Учёные эпохи Возрождения, учитывая теории своих предшественников, открывают новые понимания в оптике и используют полученные знания в художественном искусстве.

Эпоха Нового времени характеризуется периодом научной революции, в частности революции в области оптики. До этого времени наука о зрительном восприятии развивалась в тесных рамках с философией, религией и искусством.

Некоторые исследования предшествующих эпох, отделяющие научное знание от любого другого вида, несомненно произвели значительный скачок в переосмыслении науки в целом. Однако именно в период Нового времени наука обособляется и начинает существовать в чистом виде. Особый вклад в переосмыслении оптических теорий, среди учёных этого времени, внесли И. Кеплер, Р. Декарт, Т. Гоббс, Дж. Локк, И. Ньютон и др. [6, 33, 50, 66, 124, 137].

В эпоху Новейшего времени, благодаря выдающейся роли науки исследование зрительных иллюзий начинает носить систематический характер и становится объектом исследования многих учёных. Интерес к феноменам зрения был, прежде всего, обусловлен возможностями апробации теоретических представлений о процессах зрительного восприятия на материале изображений зрительных иллюзий.

На начальном этапе исследований (конец XIX – начало XX века) систематизацией и изучением различного рода зрительных иллюзий занимались такие учёные как И. Поггендорф (1796 – 1877), Г. Гельмгольц (1821 – 1894), В. Вундт (1832 – 1920), И. Цёльнер (1834 – 1882), Э. Гёринг (1834 – 1918), Г. Эббингауз (1850 – 1909), Д. Джастроу (1863 – 1944), Э. Титченер (1867 – 1927) и др. [122, 123, 127, 139, 140, 151, 160]. Упомянутыми авторами созданы первые геометрические иллюзии, ставшие классическими. Таким образом, объективное изучение зрительных геометрических иллюзий осуществляется более ста лет.

История разработки разнообразных двумерных объектов зрительных иллюзий тесно связана с историей развития научных школ и подходов к исследованию психологии восприятия. Например, открытие послеэффекта цвета позволило Э. Гёрингу [122, 123] сформулировать оппонентную теорию цветового зрения, которая позже была развита и дополнена нейрофизиологическими исследованиями Л. Гурвича и Д. Джеймсона [126].

В процессе развития представлений о феномене зрительных иллюзий обсуждались две противоположенные точки зрения на значимость изучения иллюзий для понимания процессов восприятия. Согласно одной из них [132], зрительные иллюзии не следовало рассматривать в качестве достойного объекта исследований, поскольку они представляли собой субъективные искажения процессов

объективного восприятия. Позже подобного мнения придерживался и основатель экологического подхода Дж. Гибсон [28]. Он также критиковал повышенный, с его точки зрения, интерес к зрительным иллюзиям, рассматривая их как артефакты, возникающие из-за лабораторных условий проведения исследований.

Другая точка зрения рассматривала иллюзии как те уникальные феномены, в которых проявляются особенности работы зрительной системы. Согласно ей, иллюзии могут рассматриваться как базовый материал для экспериментальных исследований и демонстрации теоретических гипотез о процессе восприятия. Эти представления были характерны для таких научных подходов как гештальт-подход, конструктивизм, информационный и нейрофизиологический подходы.

В советской психологической школе иллюзии неоднократно использовались как методический материал в экспериментальных исследованиях психических процессов. Используя различные зрительные иллюзии, исследовались роль движений глаз в процессах внимания, феномены инвертированного псевдоскопического зрения, особенности восприятия наклонных линий, эффекты контекста, особенности восприятия растровых изображений, феномены бессознательного, механизмы восприятия длины линий, сглаживание когнитивного конфликта [8, 24, 98].

В современных исследованиях зрительного восприятия иллюзии занимают одно из ключевых мест. На основе классических, а также созданных недавно зрительных иллюзий исследуются нейрофизиологические и когнитивные механизмы формирования зрительных образов. Эти исследования активно используются в компьютерном зрении, позволяя создавать модели зрения, востребованные в робототехнике и искусственном интеллекте [60].

## **1.2. Геометрические зрительные иллюзии**

Среди зрительных иллюзий особый интерес для современных исследователей представляют геометрические иллюзии. Сам термин «геометрические иллюзии» отражает то обстоятельство, что они возникают вследствие ошибочной оценки размеров, формы и взаиморасположения элементов при рассматривании

геометрических фигур на двумерной плоскости. Именно с таких иллюзий с середины XIX века началось исследование данного явления в системе зрительного восприятия. В настоящее время вследствие развития компьютерных технологий этот вид иллюзий изучается ещё более интенсивно. Повышенное внимание к изучению геометрических иллюзий объясняется и тем, что они относительно легко поддаются количественной оценке. Это в определённой степени позволяет использовать их для оценки высших функций зрения [83].

Особенностью геометрических иллюзий является то, что формирование зрительного образа определённого объекта всегда находится под влиянием окружающих деталей. Иначе говоря, зрительное восприятие объекта зависит от контекста, в котором он рассматривается. Геометрические иллюзии в свою очередь неоднородны и включают несколько видов.

Так, например, в классификации И.Д. Артаманова можно выделить иллюзии связанные с особенностями строения глаза, иллюзии «целого» и «части», переоценки вертикальных линий, преувеличения острых углов и перспективы [5, с. 31-82]. К иллюзиям, связанным с особенностями строения глаза, относят искажения, вызванные явлением иррадиации, когда светлые предметы на тёмном фоне кажутся увеличенными сверх своих настоящих размеров и как бы захватывают часть тёмного фона [5, с. 31-43]. К разряду таких искажений относится иллюзия Гельмгольца или иллюзия иррадиации (Рис. 1.1). Эта иллюзия возникает при рассматривании двух малых квадратов белого и чёрного цвета, расположенных внутри соответственно чёрного и белого больших квадратов.

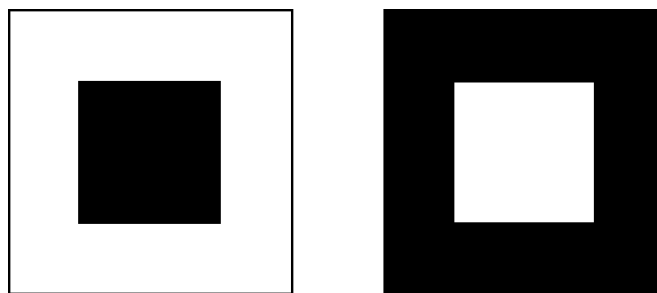


Рис. 1.1. Фигуры, вызывающие иллюзию иррадиации Гельмгольца



Возникает впечатление, что размер белого квадрата на чёрном фоне справа больше чёрного квадрата на светлом фоне слева, хотя на самом деле их размеры одинаковы. Согласно Г. Гельмгольцу, данная иллюзия вызвана иррадиацией света от ярких участков на тёмные. Иррадиация представляет собой физическое явление, происходящее в тканях глаза. С. Толанский в своей книге отмечает, что «количественно этот эффект меняется от человека к человеку и для некоторых ... иллюзия слаба ..., но правильное использование иррадиации может вызвать очень сильные иллюзии» [78, с. 54-56].

К иллюзиям «целого» и «части» относится известная иллюзия Мюллера-Лайера, описанная в 1889 году [5, с. 43-44]. Фигура, вызывающая ее появление, представляет собой две прямые горизонтально расположенные линии одинаковой длины (Рис. 1.2).

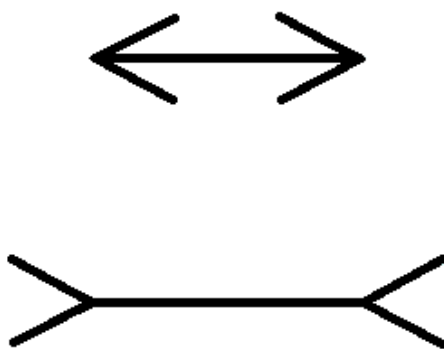


Рис. 1.2. Фигуры, вызывающие иллюзию Мюллера-Лайера

На концах одной из них острия стрелок направлены друг на друга, на концах другой в противоположные стороны. Для наблюдателя линия со сходящимися навстречу друг другу стрелками кажется явно длиннее, чем с расходящимися. К этой же категории зрительных искажений И.Д. Артамонов относил и иллюзию Эббингауза или так называемые круги Титченера (Рис. 1.3).

Фигуры, вызывающие данную иллюзию, состоят из окружностей, только в одном случае вокруг центральной окружности расположены окружности большего размера, а в другом наоборот меньшего. При этом создаётся впечатление, что диаметр центральной окружности меньше, если ее окружают большие окружности, по

сравнению с тем, когда вокруг расположены окружности меньшего размера. На самом же деле диаметр центральных окружностей совершенно одинаков.

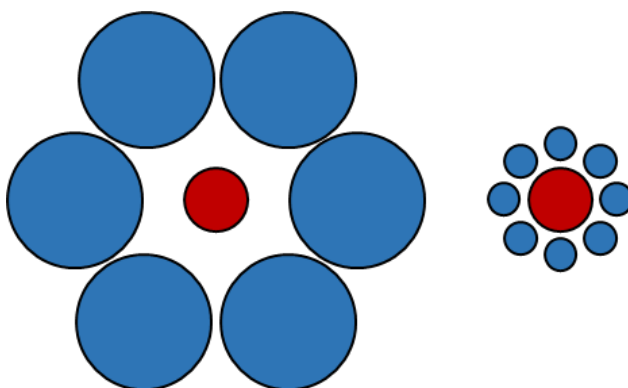


Рис. 1.3. Фигуры, вызывающие иллюзию Эббингауза

Объединение иллюзий Мюллера-Лайера и Эббингхауза в одну категорию разделяют не все авторы. С. Толанский в отличие от И.Д. Артамонова относил их к различным группам. По его мнению, иллюзия Мюллера-Лайера может быть выделена в отдельную категорию иллюзий, в частности «иллюзию стрелы» или сходящихся и расходящихся линий. Возникающий при этом иллюзорный эффект обозначается им как «эффект крыльев» [78, с. 54-56].

Примером иллюзии переоценки вертикальных линий служит простейший случай, когда прямая вертикальная линия делит пополам такую же горизонтальную линию (Рис. 1.4). Длины обеих линий, формирующих фигуру, совершенно одинаковы, однако возникает ощущение, что вертикальная линия длиннее горизонтальной.

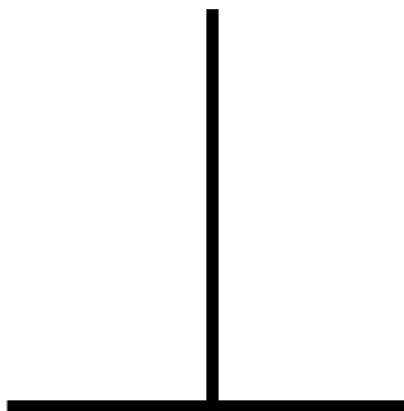


Рис. 1.4. Фигура, вызывающая иллюзию переоценки вертикальной линии

К иллюзиям преувеличения острых углов [5, с. 59-66.] относится иллюзия Поггендорфа (рис. 1.8). Фигура, вызывающая эту иллюзию, состоит из двух длинных параллельных линий и двух отрезков *A* и *B* расположенных под углом к этим линиям. При этом создаётся впечатление, что отрезок *A* смещён относительно *B*, тогда как на самом деле они расположены строго на одной прямой. Эту группу иллюзий С. Толанский в отличие от И.Д. Артамонова определяет, как иллюзию пересечения [78, с. 63-71].

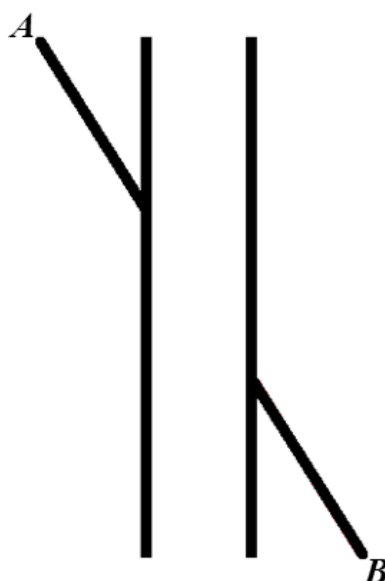


Рис. 1.5. Фигура, вызывающая иллюзию Поггендорфа

К этой же категории искажений иногда причисляют различные варианты иллюзии Цёлльнера, возникающей при рассматривании фигуры, состоящей из двух длинных вертикальных линий с расположенными на них небольшими поперечными штрихами (Рис. 1.6). При этом создаётся впечатление, что длинные вертикальные линии то сходятся, то расходятся, хотя на самом деле они строго параллельны.

С одной стороны, эта иллюзия может быть отнесена к иллюзиям сходящихся и расходящихся линий, а с другой – к иллюзиям пересечения. В связи с этим С. Толанский выделял отдельную группу иллюзий, вызываемых штриховкой, и относил к ней иллюзию Цёлльнера [78, с. 99-113].

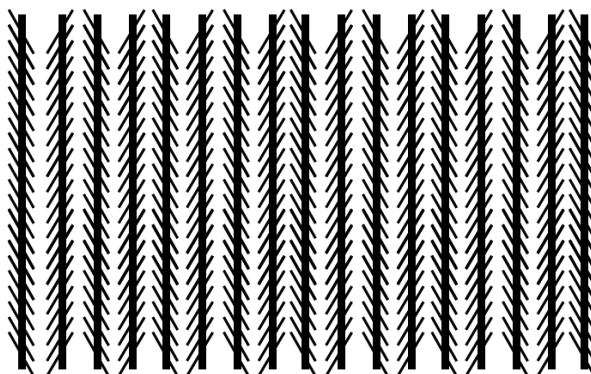


Рис. 1.6. Фигуры, вызывающие иллюзию Цёлнера

Примером иллюзии перспективы в категории геометрических иллюзий служит иллюзия Понцо [37] или так называемая иллюзия железнодорожных путей. Фигуры, вызывающие эту иллюзию, состоят из сходящихся линий, между которыми, на некотором расстоянии друг от друга параллельно расположены два отрезка одинакового размера (Рис. 1.7).

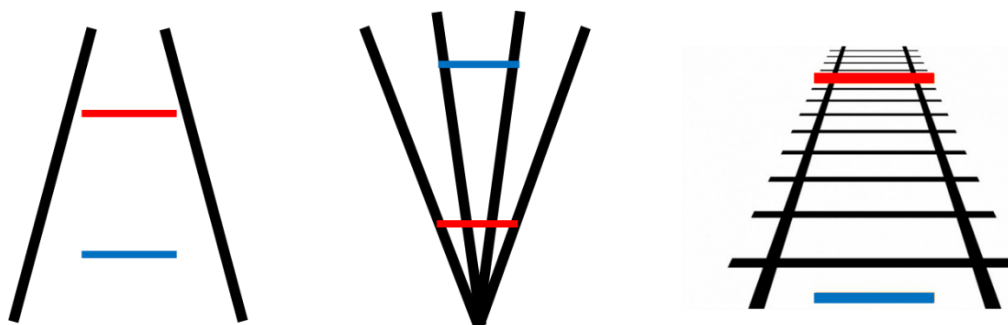


Рис. 1.7. Фигуры, вызывающие иллюзию перспективы Понцо

При рассматривании этих фигур возникает впечатление, что отрезки, расположенные ближе к точке схождения линий, кажутся длиннее отрезков, расположенных дальше точки схождения. Данный эффект сохраняется, в каком бы положении человек ни рассматривал эти фигуры.

Представленные геометрические иллюзии являются лишь небольшой частью многообразия примеров ошибочного восприятия зрительной системой различных объектов. В основе проявления геометрических иллюзий и большинства зрительных искажений лежит несколько факторов. Поэтому несмотря на относительно давнюю историю и большое количество исследований зрительных иллюзий, лишь

малая их часть может быть интерпретирована более или менее однозначно. Вследствие этого существуют различные гипотезы о причинах возникновения зрительных иллюзий.

### **1.3. Теоретические гипотезы о возникновении зрительных иллюзий**

Несмотря на многочисленные исследования причин возникновения зрительных иллюзий, лишь малую часть из них можно объяснить с помощью однозначных теорий. Большинство зрительных искажений носит многогранный характер, что обусловлено множественностью факторов, влияющих на восприятие. В связи с этим существует разнообразие гипотез, описывающих механизмы формирования зрительных иллюзий. Эти гипотезы можно классифицировать в зависимости от предполагаемого источника искажений: психологические факторы восприятия и физиологические механизмы работы центральных отделов зрительной системы. Таким образом, гипотезы, объясняющие происхождение геометрических иллюзий, можно разделить на две группы – психологические и физиологические.

К гипотезам психологического характера можно отнести теории, связывающие возникновение иллюзий с восприятием глубины или перспективы, а также с некорректным использованием механизмов постоянства восприятия размеров объектов, расположенных на различных расстояниях [37, 108, 109, 117, 154]. Близки к ним теории адаптации и ассимиляции, объясняющие искажения восприятия через сложные взаимодействия между центральной и периферической частями воспринимаемого стимула [120, 121, 145, 158]. В этом контексте также стоит отметить концепцию веса центральной области стимула, согласно которой искажение восприятия обусловлено неодинаковой склонностью наблюдателя фокусировать внимание на центре и периферии изображения [100].

Исследования, ориентированные на физиологические механизмы возникновения иллюзий, основываются на свойствах рецептивных полей [153], детекторов ориентации контуров [15, 20], а также на концепции пространственной фильтрации сигналов [23-27, 111, 138]. Модели функционирования зрительной системы,

предложенные этими авторами, основываются на передаче информации с использованием частотного кода, который включает операцию логарифмирования. Эти модели можно классифицировать на три типа: те, которые описывают изображения с помощью частотных характеристик [99]; те, которые исходят из согласованной фильтрации [47, 48] и те, которые принимают во внимание локальные признаки изображений [29, 52, 66].

В соответствии с гипотезами частотного анализа зрительной информации, зрительный анализатор представляет собой систему параллельно функционирующих каналов, каждый из которых настроен на обработку определенной полосы частот. Каждый канал включает совокупность рецептивных полей с одинаковыми свойствами, через которые проходит сигнал от изображения на сетчатке, а выходная импульсная активность определяется параметрами фильтрации изображения в узкой полосе пространственных частот [17,29]. Это позволяет рассматривать каждое изображение как разложенное по частотным составляющим.

Согласованная фильтрация предполагает сравнение предъявляемого изображения с эталоном, хранимым в памяти. Согласно этой гипотезе, в памяти содержится точная копия изображения, с которой производится сопоставление.

Гипотеза пространственно-частотного анализа изображений была предложена на основе экспериментальных данных [99], которые показали, что зрительная система является совокупностью параллельно работающих каналов, каждый из которых отвечает за обработку конкретной полосы частот. Эта концепция согласуется с принципом структурной организации зрительной коры, которая включает вертикальное (колончатое) и горизонтальное (слоистое) распределение нейронов [88].

Модели, основанные на локальных признаках изображений, возникли на основе экспериментальных данных, показавших, что рецептивные поля зрительной коры реагируют не на диффузное освещение сетчатки, а на полосы и края, имеющие определенную ориентацию [88]. В рамках этой гипотезы было введено понятие нейронов-детекторов, которые избирательно реагируют на физические параметры стимула (линии, углы, цвет и т. п.). Этим объясняется принцип кодирования информации через номер канала детектора [77].

Модели, ориентированные на локальные признаки изображений, учитывают такие параметры, как контраст, ориентация, размеры локальных признаков и их расположение в пространстве. Эти характеристики часто называют примитивами изображений.

Согласно гипотезам пространственно-частотного кодирования, любое изображение имеет свою уникальную пространственно-частотную характеристику, которая зависит от положения объекта в поле зрения. Это объясняет различия в точности восприятия разных частей объекта: те, что попадают на фовеальную область, обрабатываются с высокой точностью, в то время как периферийные части – с меньшей [26].

Для геометрических фигур, вызывающих иллюзии, эти искажения могут быть количественно оценены. Экспериментальные исследования, такие как исследования Эббингхауза [16], показали, что восприятие пространственных интервалов зависит от расположения объектов в фовеальной области. Когда объекты располагаются близко друг к другу, происходят искажения, связанные с взаимодействием между ними.

Кроме того, существует мнение, что искажения восприятия могут возникать вследствие взаимодействия нескольких нейронных механизмов [103, 136, 150]. Однако на данный момент имеется лишь ограниченное количество доказательств, связывающих определенные иллюзии с конкретными нейрофизиологическими особенностями зрительной системы. Например, рецептивные поля стриарной коры могут влиять на восприятие пространственных интервалов [17], рецептивные поля наружного коленчатого тела – на восприятие размеров схожих стимулов [15], а пространственно-частотная фильтрация – на уровне зрительной коры [27].

На сегодняшний день еще не разработана универсальная теория, которая могла бы объединить психологические и физиологические гипотезы. Очевидно, предпочтения исследователей в выборе той или иной модели обусловлены спецификой изучаемой функции зрительной системы и задачами исследования.

#### 1.4. Методы и технологии исследования геометрических иллюзий

Для изучения зрительных иллюзий разработано множество методов, позволяющих фиксировать и количественно оценивать ошибки восприятия, а также анализировать факторы, влияющие на их проявление. На сегодняшний день в исследованиях иллюзий применяется широкий спектр подходов – от качественных методов, основанных на субъективных оценках, до использования современных технологий, включая методы нейровизуализации и виртуальную реальность.

Исторически основу изучения зрительных иллюзий составляют методы психофизики – науки, исследующей количественные соотношения между физическими стимулами и их восприятием. Психофизические эксперименты позволяют выяснить, как зрительная система обрабатывает информацию о форме, размере, расстоянии и других параметрах объектов, и как эти процессы приводят к появлению иллюзорных искажений. Среди классических психофизических методик, получивших наибольшее распространение при измерении величины иллюзий, выделяют метод уравнивания (подгонки), метод лестницы и метод постоянных стимулов. Эти методы позволяют определить так называемую «точку субъективного равенства» – такое состояние, при котором, несмотря на присутствие иллюзорного контекста, исследуемые объекты воспринимаются без искажения, то есть равными по какому-либо признаку (длине, углу, параллельности и т.д.).

Принцип *нейтрализации иллюзии* заключается именно в нахождении и достижении этой точки: исходное изображение изменяют до тех пор, пока элементы, которые изначально казались различными из-за иллюзии, не начинают восприниматься как одинаковые. Например, в геометрических иллюзиях это может означать наклон непараллельных линий до такого угла, при котором они субъективно кажутся параллельными или изменение длины отрезков до субъективного равенства. Величина внесённого изменения служит количественной мерой силы иллюзии.

В зависимости от требуемой точности измерения искажения различают качественные и количественные методы регистрации иллюзий. Качественные методы фиксируют присутствие иллюзорного эффекта приблизительно, с помощью



категориальных или бинарных суждений: например, испытуемый отвечает, проявляется ли иллюзия («да»/«нет») или оценивает её грубо по шкале («сильная – слабая», «больше – меньше») [40, 65]. Такой подход позволяет выявить сам факт наличия иллюзии и приблизительно сравнить её выраженность у разных людей или в разных условиях, но не даёт точной количественной оценки.

Количественные методы направлены на измерение величины иллюзии в метрических единицах, например, в единицах длины или угла [72-75, 14]. В экспериментах этого типа испытуемый сравнивает размеры реальных геометрических элементов и их кажущиеся размеры в иллюзорной конфигурации. Уровень искажения вычисляется по разнице между реальным и воспринимаемым значением. Таким образом можно количественно выразить степень иллюзии. Подобные измерения требуют точных процедур и зачастую опираются на упомянутые классические психофизические методики.

**Классические психофизические методики.** Рассмотрим три базовых психофизических метода исследования зрительных иллюзий более подробно.

*1) Метод уравнивания (подгонки)* предполагает, что испытуемый сам активно изменяет параметр тестового стимула до тех пор, пока не достигнет его субъективного равенства с эталоном. Участник эксперимента вручную настраивает, например, длину линий или угол наклона фигуры, пока не посчитает, что две сравниваемые величины кажутся равными. В современных условиях метод уравнивания обычно реализуется при помощи компьютерных программ, дающих испытуемому интерактивные средства для изменения стимулов. При грамотном проведении эксперимента точка субъективного равенства может быть определена весьма точно, особенно если разрешено варьировать параметр в обе стороны от предполагаемого равенства (это предотвращает систематический сдвиг из-за первоначального положения регулировки). Преимущество метода уравнивания – его наглядность и интуитивность для участника: человек сам находит тот самый баланс, когда иллюзия «нейтрализована». Недостатком является то, что данный метод трудноприменим при кратковременном предъявлении стимулов или когда условия требуют точного

временного контроля, поскольку у испытуемого должно быть достаточно времени и возможностей для манипуляции стимулом.

2) *Метод лестницы (пороговый метод)* существует в восходящем или нисходящем варианте. Здесь параметр тестовой фигуры систематически увеличивается или уменьшается ступенчатыми шагами экспериментатором, а задача испытуемого – сообщать о моменте, когда сравниваемые объекты станут казаться равными (либо, наоборот, перестанут казаться равными). Например, в случае восходящей лестницы можно начать с условий, где иллюзия явно проявляется (существенное искажение) и постепенно уменьшать степень искажения до тех пор, пока испытуемый не скажет, что различия исчезли. При нисходящей лестнице – наоборот, начинают с отсутствия иллюзии и постепенно усиливают искажение до появления ощутимого эффекта. Часто применяют адаптивный вариант: при смене ответа («было равно» → «стало неравно» или наоборот) направление изменения параметра переворачивают, и так несколько раз, сходясь к точке равенства. Метод лестницы более экономичен по числу предъявлений, чем метод постоянных стимулов, и в то же время уменьшает влияние привыкания или ожидания: испытуемый не знает заранее, увеличится или уменьшится стимул дальше. Однако необходимо учитывать возможный эффект привыкания к последовательности, поэтому иногда проводят несколько чередующихся лестниц. В итоге средней точкой переходов оценивают искомую величину иллюзии.

3. *Метод постоянных стимулов* – наиболее строгий метод измерения. При нём экспериментатор заранее подготавливает набор различных значений тестового параметра (например, разные длины линии в иллюзии Мюллера-Лайера, охватывающие диапазон от явно меньших до явно больших относительно эталона). Эти варианты предъявляются испытуемому многократно в случайном или псевдослучайном порядке, а испытуемый на каждом предъявлении сравнивает стимул с эталоном и даёт однозначный ответ, например, «длиннее эталона» или «короче эталона». Чтобы избежать неопределённых ответов, обычно запрещается отвечать «равно» – испытуемый должен в каждом случае выбрать, в какую сторону отличается тестовый стимул. Набрав достаточную статистику ответов на каждый вариант,

экспериментатор определяет точку субъективного равенства как тот уровень параметра, при котором ответы «больше» и «меньше» встречаются с равной частотой. Эта точка и отражает величину иллюзии. Метод постоянных стимулов позволяет построить полную психометрическую функцию и вычислить не только сдвиг восприятия, но и чувствительность (например, разброс или порог различения). Кроме того, хаотичный порядок предъявления исключает систематические ошибки, связанные с предсказуемым изменением стимула в одну сторону [65]. Основным минусом метода – его трудоёмкость: требуется большое число предъявлений, затрачивающих время и утомляющих участника.

**Экспериментальные подходы исследования иллюзий.** При планировании исследований геометрических иллюзий также важен выбор стратегического подхода – на каких факторах сосредоточить внимание. Выделяются два главных направления: 1) исследование иллюзий в зависимости от характеристик испытуемого; 2) исследование иллюзий в зависимости от модификаций стимула.

В первом случае варьируются психологические, физиологические и демографические особенности испытуемых, чтобы понять, влияют ли они на восприимчивость к иллюзиям. В различных работах показано, что сила и частота зрительных иллюзий могут зависеть от пола и возраста человека, от его индивидуальных черт (темперамента, типа мышления), культурного и жизненного опыта, а также от состояния психического здоровья [55, 56, 68, 101, 106, 112]. Так, например, было установлено, что женщины в среднем демонстрируют несколько более сильную восприимчивость к отдельным геометрическим иллюзиям, чем мужчины [106], что может быть связано с различиями в визуально-пространственных способностях. С возрастом, по данным ряда исследований, чувствительность к некоторым иллюзиям меняется: дети и пожилые могут воспринимать иллюзорные фигуры не так, как взрослые [112].

Индивидуально-типологические особенности также вносят вклад: например, люди с нарушениями развития или с психическими расстройствами нередко проявляют аномальную реакцию на зрительные иллюзии. У лиц с расстройствами аутистического спектра отмечено ослабление воздействия контекстуальных иллюзий

(таких как иллюзия Эббингауза), что связывают с особенностями их глобального/локального зрительного восприятия [101]. При шизофрении фиксируют сниженную подверженность некоторым зрительным иллюзиям, отражающую особенности контекстной интеграции зрительной информации у данной группы пациентов [129]. Такие данные помогают понять, какие звенья зрительного восприятия могут быть усилены или ослаблены в различных популяциях.

Второе направление связано с изменением самой иллюзорной фигуры и её воздействия при целенаправленных модификациях стимула. Сюда относятся эксперименты, где варьируют параметры предъявляемых изображений, вызывающих иллюзию: геометрические размеры частей фигуры, расстояния и взаимное расположение элементов, добавляют или убирают контекст, изменяют цвет и контраст фигуры и фона, форму индикаторов и пр. Подобные манипуляции позволяют выявить, какие именно свойства стимула критичны для возникновения иллюзии и как количественно эти свойства влияют на величину искажения.

Например, классическая иллюзия Поггендорфа (ошибочное восприятие коллинеарности отрезков, пересекающих параллельные линии) существенно зависит от расстояния между параллельными линиями: при увеличении этого расстояния величина иллюзии заметно уменьшается [128]. В иллюзии Мюллера-Лайера изменение угла и длины «стрелок» влияет на силу искажения воспринимаемой длины отрезка – это было подтверждено серией экспериментов с изменёнными вариантами рисунка [141]. Другие авторы изучали эффект фонового окружения: так, величина иллюзии Эббингауза (контрастного восприятия размера круга среди окружения) зависит от относительного размера и количества окружающих фигур [15].

Добавление или удаление вспомогательных линий, сегментация фигуры на части, поворот отдельных элементов – всё это может либо усиливать, либо ослаблять иллюзорный эффект. Например, А.Н. Булатовым и соавторами был проведён цикл количественных исследований, где разные геометрические иллюзии (Мюллера-Лайера, Оппеля–Кундта и др.) подвергались вариациям пространственных параметров. Результаты показали, что даже небольшие изменения конфигурации приводят к значимым изменениям величины иллюзии [23-27].

Таким образом, варьирование свойств тестовых стимулов служит инструментом для проверки гипотез о механизмах иллюзий: если изменение какого-то параметра устраняет иллюзию или резко меняет её силу, значит, этот параметр, вероятно, связан с тем уровнем обработки зрительной информации, где рождается данная иллюзия.

### **1.5. Программные средства для исследования геометрических иллюзий**

Исследование зрительных геометрических иллюзий требует применения специализированного ПО, позволяющего точно генерировать визуальные стимулы, управлять режимом их предъявления и автоматически регистрировать ответы испытуемых. В последние десятилетия разработан ряд авторских компьютерных программ и модулей, нацеленных на воспроизведение классических иллюзий и измерение степени искажения восприятия, вызываемого ими [21, 67, 89, 92].

Одним из примеров является пакет программ, созданный сотрудниками Института физиологии им. И.П. Павлова РАН (г. Санкт-Петербург) для автоматизации зрительных экспериментов. Он реализован на языке Delphi и оснащён графическим интерфейсом, включающим элементы управления (кнопки, поля ввода параметров) и модуль сохранения данных в базу [89]. Данный комплекс содержит несколько самостоятельных модулей, каждый из которых предназначен для предъявления определённого типа стимулов и регистрации соответствующих реакций испытуемого.

Все перечисленные модули работают под операционной системой Windows и рассчитаны на вывод графики на монитор с высокой частотой. Для отрисовки стимулов используется библиотека Windows GDI+ с функциями сглаживания. Использование данного программного комплекса значительно упростило проведение экспериментов по распознаванию фрагментированных изображений и исследованию классических иллюзий при усложняющих условиях (маскирование стимулов, низкий контраст и пр.).

Например, в одном из исследований зрительных искажений в классической архитектуре авторские Delphi-модули применялись для предъявления

изолированных линий и опорных «всерных» фигур (иллюзия Вундта–Геринга), а также для оценки наклона линий в присутствии отвлекающих контуров (иллюзия наклона) [21]. Стимулы генерировались в виде тёмных сглаженных линий заданной яркости на светлом фоне. Такой подход обеспечил высокую точность задания параметров (углов наклона, контраста и пр.) и регистрацию ответов, превосходя по гибкости стандартные графические редакторы или презентационные пакеты.

Другой важный шаг в развитии инструментов для исследований иллюзий – создание интерактивных компьютерных программ, позволяющих самим испытуемым настраивать параметры иллюзорной фигуры до субъективного устранения эффекта. Такой подход был предложен В.В. Огнивовым и соавторами (ИППИ РАН, г. Москва) для количественной оценки величины классических геометрических иллюзий [67-69]. В отличие от статичных тестов с фиксированными рисунками, интерактивная методика предполагает, что наблюдатель видит изменяющийся стимул и может регулировать ключевой параметр (например, длину отрезка) до тех пор, пока иллюзия не исчезнет с его точки зрения.

Так, в эксперименте по измерению иллюзии Мюллера-Лайера у школьников испытуемым предлагалась компьютерная программа, позволяющая с помощью клавиатуры или мыши произвольно изменять длину центрального участка фигуры и подгонять её под длину другого эталонного отрезка [67]. Стимулом служила классическая конфигурация «стрелок» Мюллера-Лайера: два отрезка с различными уголками на концах. Испытуемый удлинял или укорачивал тестовый отрезок до тех пор, пока, по его мнению, обе линии не становились равными по длине. После остановки на выбранном положении программа автоматически вычисляла величину иллюзорного искажения – разницу (в абсолютных единицах или процентах) между реальной длиной тестового отрезка и длиной эталона. Этот показатель отражает, насколько сильно наблюдатель подвержен иллюзии: чем больше разница, необходимая для субъективного равенства, тем выше сила иллюзии для данного человека.

Тот же испытуемый проходил и классический «бумажный» вариант теста: ему предъявляли набор статичных изображений с различной конфигурацией стрелок и просили выбрать те, где отрезки выглядят равными. Это позволило сравнить

результаты непрерывной настройки на компьютере и дискретного выбора из готовых рисунков. Выяснилось, что компьютерный интерактивный метод выявляет существенно больший диапазон иллюзорных искажений, особенно у детей: если на печатных статичных изображениях ошибка восприятия ограничена шагом между предложенными вариантами ( $\sim 40\%$  максимально), то при свободной настройке некоторые дети демонстрировали иллюзорный сдвиг длины до  $60\%$  [67].

В среднем по группе младших школьников величина иллюзии Мюллера-Лайера, измеренная интерактивно, оказалась значительно выше, чем по результатам выбора из карточек. У студентов же (взрослых) средняя ошибка составляла около  $20\%$  как в бумажном, так и в компьютерном тесте, что совпадает с ранее известными данными для этой иллюзии [67].

Таким образом, интерактивное ПО продемонстрировало важное преимущество: оно позволяет более точно и чувствительно оценивать эффект иллюзии, не упуская большие индивидуальные отклонения, которые могут быть сглажены или вовсе не замечены при традиционных методах. По мнению авторов, такие программы способны устранить ограничения дискретных подходов и предоставить испытуемому полный контроль над параметром, что повышает точность измерений и выявляет скрытую вариабельность восприятия.

Особое место среди средств исследования зрительных иллюзий занимает программный комплекс, разработанный А.Н. Медведевым и И.И. Шошиной для количественного изучения ряда классических геометрических иллюзий зрения. Данное ПО создавалось в рамках психофизиологических экспериментов [53, 54, 92]. Программа ориентирована на проведение стандартизированных тестов, позволяющих измерить степень искажения восприятия, вызываемого известными оптическими иллюзиями, с высокой точностью и воспроизводимостью результатов.

В программный пакет включены несколько распространённых геометрических иллюзий, связанных главным образом с искажением величины или формы объектов. Прежде всего, это иллюзия Поггендорфа (классический эффект, при котором две наклонные линии, пересечённые параллельными полосами, воспринимаются как несмещённые по горизонтали). В данном ПО используется модификация

фигуры Поггендорфа по Джастроу – к стандартной конфигурации добавлен короткий поперечный отрезок, усиливающий ощущение рассогласования коллинеарных частей. Второй иллюзией является иллюзия Понцо – переоценка длины двух равных горизонтальных линий на фоне сходящихся линий перспективы: верхняя линия обычно кажется длиннее нижней при одинаковой физической длине. Третий ключевой стимул – иллюзия Мюллера-Лайера, в которой воспринимаемая длина отрезка зависит от формы стрелок или уголков на его концах. Все эти феномены относятся к искажениям размера, длины или угла, что делает возможным их количественную оценку методом подстройки до равенства. Кроме того, в некоторых экспериментах с помощью программы изучались и другие зрительные эффекты – например, вертикально-горизонтальная иллюзия (иллюзия Вунда-Фика).

Метод измерения во всех случаях основан на субъективной настройке ключевого параметра иллюзорной фигуры до того момента, когда иллюзия, по восприятию испытуемого, исчезает. Программа предъявляет испытуемому на экране изображение фигуры иллюзии в монохромном виде (как правило, белые линии на чёрном фоне) [53, 54, 92]. Испытуемый видит стимул через специальное окно-перекрытие (чтобы исключить отвлекающие окружения на экране) и в любой момент может дать команду остановить настройку. Управление стимулом находится в руках экспериментатора (оператора): с помощью компьютерной мыши или клавиш он постепенно изменяет параметр фигуры, а испытуемый следит за изменениями.

Пользовательский интерфейс программы предельно упрощён и заточен под экспериментальные задачи. На экране оператора отображаются элементы управления и текущее значение регулируемого параметра (угла или длины), тогда как испытуемый видит только само тестовое изображение на чёрном фоне. Программа рассчитывает геометрические параметры стимулов в физических единицах – углы поворота и длины, что позволяет сравнивать результаты между разными установками. Плавное изменение параметров достигается высокой дискретностью шага: на этапе точной настройки угол может изменяться с шагом  $\sim 0,001$  радиана, а длина – на 1 пиксель экрана ( $\sim 0,3$  мм в указанных условиях) [53, 54, 92]. Такая точность



гарантирует минимальную квантованность и позволяет фиксировать пороги иллюзий с точностью до десятых долей градуса или долей миллиметра.

Программа автоматически ведёт протоколирование: в момент отклика испытуемого записывается текущее значение параметра (угла, длины), а также дополнительные сведения (номер попытки, ориентация фигуры, интервал и др., в зависимости от эксперимента). Данные сохраняются в файл или таблицу, пригодную для последующей статистической обработки. При серийных экспериментах предусмотрен цикл автоматического предъявления нескольких стимулов в заданной последовательности.

### **Преимущества использования специализированного ПО**

Применение описанных программных средств обеспечило ряд существенных преимуществ при исследовании геометрических иллюзий по сравнению с традиционными методами (печатными тестами, статичными изображениями и т.п.).

**1. Количественная оценка и высокая точность измерений.** Современное ПО позволяет напрямую измерять величину иллюзорного искажения в метрических единицах – угол отклонения, разницу в длине, процент ошибки и т.д. Вместо субъективного описания исследователь получает числовой показатель силы иллюзии для каждого испытуемого. Точность заданий параметров чрезвычайно высока: компьютерное управление дает возможность минимальных шагов изменения (до единиц пикселей или тысячных долей радиана), что недостижимо при ручных методах. Это обеспечило воспроизводимость и объективность данных. Количественные показатели, полученные с помощью программы, можно непосредственно использовать для статистического сравнения групп, корреляционного анализа и т.д., что обогащает выводы о природе иллюзий.

**2. Автоматизация и снижение влияния человеческого фактора.** Программы берут на себя всю процедуру предъявления и регистрации, сводя к минимуму роль экспериментатора в фиксации результатов. Отпадает необходимость вручную вычерчивать стимулы с разными вариантами параметров или измерять линейкой рисунки на бумаге – все вариации генерируются алгоритмом, а ключевые моменты (момент «стоп» и соответствующее значение параметра) записываются

автоматически. Это устраняет возможные ошибки и субъективность оператора при съёме данных. Кроме того, стандартизированный софт обеспечивает единообразные условия для всех испытуемых: одинаковый контраст (например, белые фигуры на чёрном фоне), фиксированное расстояние до экрана, идентичные временные промежутки и т.д. [53, 54, 92]. Тем самым повышается надежность экспериментов и их соответствие принципам репликации: другие исследователи, при наличии программы, могли бы воспроизвести протокол и ожидать сходных условий предъявления.

### **3. Гибкость и универсальность в рамках рассматриваемых феноменов.**

Одно и то же техническое решение может быть настроено под разные иллюзии и парадигмы. Так, программный комплекс на Delphi из Института физиологии РАН включал модули как для статичных контурных иллюзий (Понцо, Мюллера-Лайера), так и для специфических задач – иллюзорные контуры, распознавание фрагментированных образов, маскировка, распределение внимания и пр. Это означает, что исследовательская группа, освоив однажды данную технологию, могла расширять круг экспериментов без создания каждой новой методики «с нуля». Более того, несколько разных иллюзий можно предъявлять одним испытуемым последовательно, в сходной обстановке, что облегчает сравнительные исследования. В работах И.И. Шошиной и соавторов один и тот же испытуемый проходил тесты на иллюзии Поггендорфа, Понцо и Мюллера-Лайера за одно заседание, причем данные по всем трем эффектам получены в сопоставимых единицах и условиях [93, 149]. Такая унификация экспериментальной базы повышает внутреннюю согласованность исследований и экономит время.

### **Ограничения и недостатки специализированных программ**

Наряду с перечисленными достоинствами, применение данных программных средств сопряжено с определёнными ограничениями. Эти недостатки следует учитывать при планировании исследований и интерпретации результатов.

**1. Необходимость оператора и полуавтоматичность.** В большинстве описанных методик не предполагается, что испытуемый полностью самостоятельно взаимодействует с компьютером. Требуется присутствие экспериментатора или

ассистента, который управляет изменением параметров (вращает линии, нажимает кнопку для изменения длины и т.п.) и фиксирует момент остановки по словесному сигналу участника. Это вводит элемент человеческого фактора в процедуру. Например, задержка оператора между словом «стоп» и отпусканием кнопки может добавить небольшую погрешность. Также возрастает трудоёмкость: один экспериментатор может тестировать лишь одного испытуемого за раз, постоянно следя за экраном и контролируя процесс. В групповых тестированиях применение такого ПО затруднено. В идеале часть функций можно было бы возложить на самих участников (нажатие кнопки для изменения параметра), но тогда потребуются иное построение интерфейса и дополнительные проверки внимания испытуемого. В существующих реализациях авторы сделали выбор в пользу контролируемого эксперимента под наблюдением оператора, что несколько снижает скорость сбора данных.

**2. Техническое устаревание.** Delphi и библиотека BDE, применённые в ряде модулей, ныне считаются устаревшими, их поддержка сокращается. Современные аналоги предлагают более гибкие и кроссплатформенные решения для генерации стимулов и контроля эксперимента. В новых работах всё чаще применяются открытые фреймворки, позволяющие поделиться скриптами и воспроизводить эксперименты на различном оборудовании. В этом контексте закрытые и специализированные программы 2000-х годов проигрывают в универсальности. Их преимуществом остаётся тонкая оптимизация под конкретную задачу, однако перенос этой точности на новые платформы требует усилий. Тем не менее, накопленный опыт может служить основой для разработки новых поколений программ.

**3. Необходимость в дополнительном ПО для статистической обработки и анализа данных.** Представленное ПО не предполагает автоматизацию статистической обработки и анализа данных, что существенно увеличивает временные ресурсы экспериментов и требует обращения к другим программным средствам для обработки и анализа результатов.

## 1.6. Выводы к первой главе

1. Феномен зрительных иллюзий представляет собой важную область исследования, способствующую более глубокому пониманию механизмов зрительного восприятия. Иллюзии демонстрируют несовершенства зрительной системы и выступают в качестве естественных экспериментов, выявляющих особенности обработки визуальной информации.

2. Историческое развитие представлений о зрительных иллюзиях показывает эволюцию от философских и умозрительных моделей к экспериментальным и физиологически обоснованным теориям. Особенно значим вклад исследователей XIX–XX веков, создавших классические геометрические иллюзии.

3. Механизмы возникновения зрительных иллюзий являются многофакторными и не сводятся к единой причине. Несмотря на большое количество исследований, учёные до сих пор не пришли к универсальной теории, объясняющей все типы иллюзий. Это связано с тем, что восприятие иллюзорных эффектов формируется на пересечении сенсорных, когнитивных и нейрофизиологических процессов, каждый из которых может по-своему искажать визуальную информацию. Теоретические гипотезы делятся на две ключевые группы: психологические и физиологические.

4. Различные типы иллюзий требуют разных объяснительных моделей, что подчёркивает необходимость комплексного подхода. Одни эффекты лучше описываются когнитивными механизмами, другие – нейрофизиологическими, а значительная часть иллюзий возникает в результате их взаимодействия. Это делает очевидным, что изолированный подход не способен охватить весь спектр явлений.

5. Классические методы уравнивания, лестницы и постоянных стимулов остаются фундаментальными инструментами количественного анализа иллюзий. Они позволяют измерять точку субъективного равенства – значение параметра, при котором воспринимаемая иллюзия исчезает. Каждый метод обладает своими преимуществами по точности, трудоёмкости и устойчивости к ошибкам восприятия. Метод уравнивания подходит для интуитивной подстройки, метод лестницы – для

оптимального баланса между точностью и экономичностью, а метод постоянных стимулов – для построения психометрических функций и глубокой статистической обработки. В зависимости от условий (время предъявления, требования к точности, взаимодействие с испытуемым) исследователь выбирает наиболее адекватный подход.

6. Качественные методы ориентированы на выявление наличия иллюзии, но не позволяют точно измерить её силу. Количественные методы, напротив, позволяют выразить величину искажения в физических единицах, обеспечивая воспроизводимость, возможность статистической обработки и точное сопоставление между группами испытуемых и условиями.

7. Физиологические и психологические особенности испытуемых (возраст, пол, тип восприятия, психическое состояние) существенно влияют на восприимчивость к иллюзиям. Одновременно варьирование свойств самой иллюзорной фигуры (формы, контекста, цвета, контраста) позволяет выявить значимые факторы, определяющие силу иллюзии и уровень зрительной обработки, к которому она относится.

8. Эксперименты с целенаправленной модификацией иллюзорных фигур (изменение углов, удаление контекста, добавление отвлекающих элементов) позволяют проверять гипотезы о механизмах возникновения иллюзий. Если изменение одного параметра существенно снижает эффект иллюзии, это указывает на его критическую роль в зрительной интерпретации.

9. Современное специализированное ПО для исследования геометрических иллюзий позволяет количественно оценивать силу зрительных искажений с высокой точностью. Автоматизация предъявления стимулов и фиксации ответов минимизирует влияние человеческого фактора и обеспечивает воспроизводимость результатов. ПО, позволяющее испытуемым самостоятельно настраивать параметры иллюзорной фигуры до субъективного устранения эффекта, демонстрируют более высокую чувствительность и выявляют широкий диапазон индивидуальных вариаций. Описанные программные комплексы включают модули для различных классических иллюзий, а также позволяют варьировать условия предъявления

(ориентация, контраст, маскирование), что делает их удобными для сравнительных и комплексных исследований.

10. Однако известные программные средства в области исследования геометрических иллюзий требуют полного присутствия оператора, что затрудняет масштабируемость и ограничивает возможности группового тестирования. Кроме того, техническое устаревание используемых платформ снижает гибкость и переносимость ПО на современные системы. Также отсутствует встроенная статистическая обработка, что требует дополнительных усилий на этапе анализа данных.

## **ГЛАВА 2. ПРОЦЕСС ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ**

Процесс тестирования систематических ошибок зрительного восприятия представляет собой сложную организационно-методическую задачу, требующую строгой формализации этапов исследования, определения ролей участников и точной настройки инструментальных средств.

В данной главе осуществляется моделирование указанного процесса как информационной системы, включающей взаимосвязанные функциональные блоки, роли пользователей и информационные потоки; подробно рассматриваются этапы разработки и проведения тестирования, а также процедуры обработки и анализа полученных данных.

Кроме того, в главе представлено проектирование программной системы с использованием унифицированного языка моделирования UML (англ. unified modeling language), что позволяет задать формальные требования к структуре и логике взаимодействия компонентов системы и пользователей. Такой подход обеспечивает методологическую основу для последующего создания полнофункциональной программной среды, предназначенной для изучения закономерностей зрительного восприятия и выявления устойчивых искажений в условиях варьируемых стимулов. Основные результаты, описанные в данной главе, опубликованы в работе [130].

### **2.1. Моделирование процесса тестирования**

Тестирование зрительного восприятия, направленное, в частности, на выявление величины систематических ошибок в восприятии при различных условиях, можно представить как информационный процесс. На общей контекстной диаграмме, изображенной на Рис. 2.1, обозначены входы, выходы, механизмы и элементы управления, задействованные в процессе тестирования. Участниками данного процесса являются: испытуемый (или группа испытуемых), исследователь (или группа исследователей) и ПО (система).



Рис. 2.1. Процесс тестирования зрительного восприятия

В начале процесса формируется постановка задачи исследования, в зависимости от которой осуществляется сам процесс тестирования. Постановка задачи представляет управляющий элемент, от которого зависит функционал процесса тестирования, реализуемый исследователем и ПО, выступающими в качестве механизмов процесса. Входным элементом процесса выступает испытуемый, который, следуя инструкциям исследователя, проходит тестирование. На выходе процесса формируются результаты тестирования.

Процесс тестирования разделен на четыре основных этапа (Рис. 2.2): разработка тестовых материалов, инструктаж, проведение тестирования, обработка и анализ результатов тестирования.

Указанные этапы отражают основные функции процесса и являются также декомпозируемыми, за исключением второго этапа, заключающегося в проведении инструктажа для испытуемых.



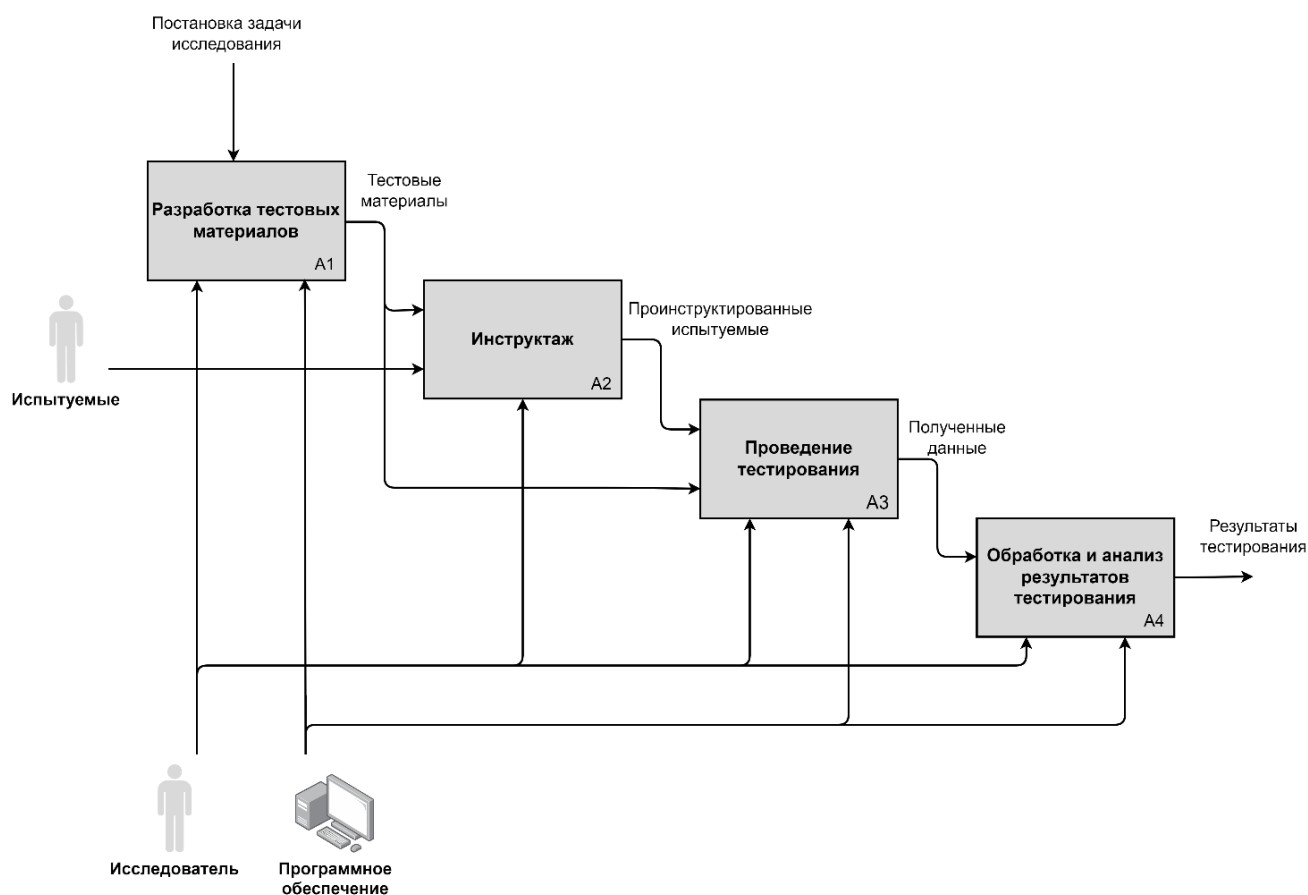


Рис. 2.2. Основные этапы процесса тестирования

Первый этап представляет собой разработку тестовых материалов (Рис. 2.3).

1. Выбор объекта исследования. Согласно поставленной задаче, исследователем осуществляется выбор иллюзии для дальнейшего изучения.
2. Формирование референтных и тестовых стимулов. На основе объекта исследования и поставленной задачи формируются тест-объекты для проведения тестирований, включающие референтные и тестовые стимулы.
3. Определение изменяющихся параметров референтных стимулов. В зависимости от задачи на этапе разработки определяются регулируемые параметры тест-объектов иллюзии, от которых находится значение систематической ошибки, возникающей у испытуемых при определении тестовых стимулов.
4. Банк сформированных тест-объектов. На выходе из функции, отвечающей за разработку тестовых материалов, формируются тестовые материалы для проведения тестирований.

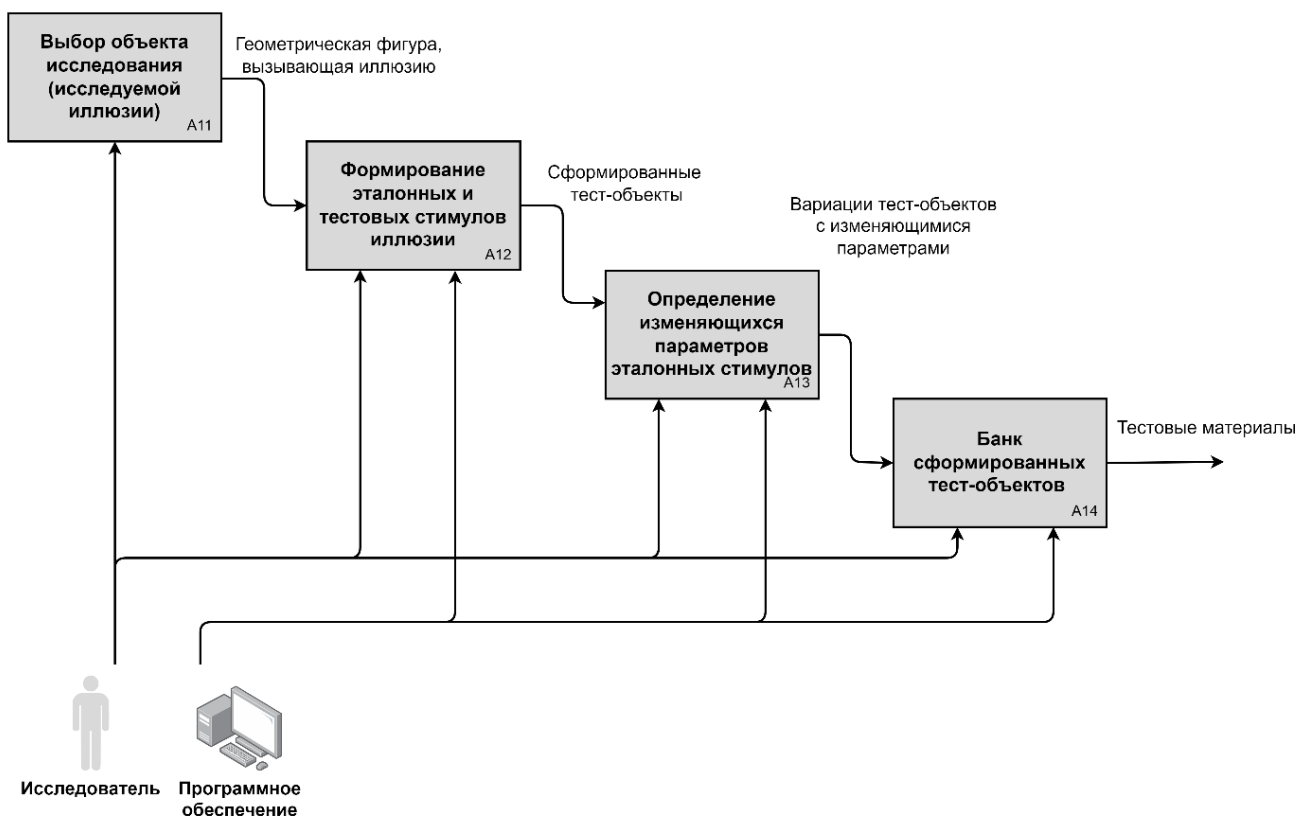


Рис. 2.3. Этап разработки тестовых материалов

Тестовые материалы, полученные на первом этапе процесса, позволяют перейти ко второму этапу, на котором исследователь дает инструкции для испытуемых, демонстрирует работу системы и знакомит с правилами прохождения тестов, после чего испытуемые приступают непосредственно к самому тестированию.

На этапе проведения тестирования испытуемые, прошедшие инструктаж, осуществляют выбор теста. На основе данного выбора предъявляются сформированные тест-объекты с референтными и тестовыми стимулами. Тестовые стимулы регулируются испытуемыми, согласно задаче исследования, и полученным инструкциям, при этом данные каждого теста сохраняются и структурируются по каждому испытуемому.

Последним этапом процесса является обработка и анализ результатов тестирования (Рис. 2.5). Данный этап включает предварительную обработку данных, статистическую обработку данных и анализ.

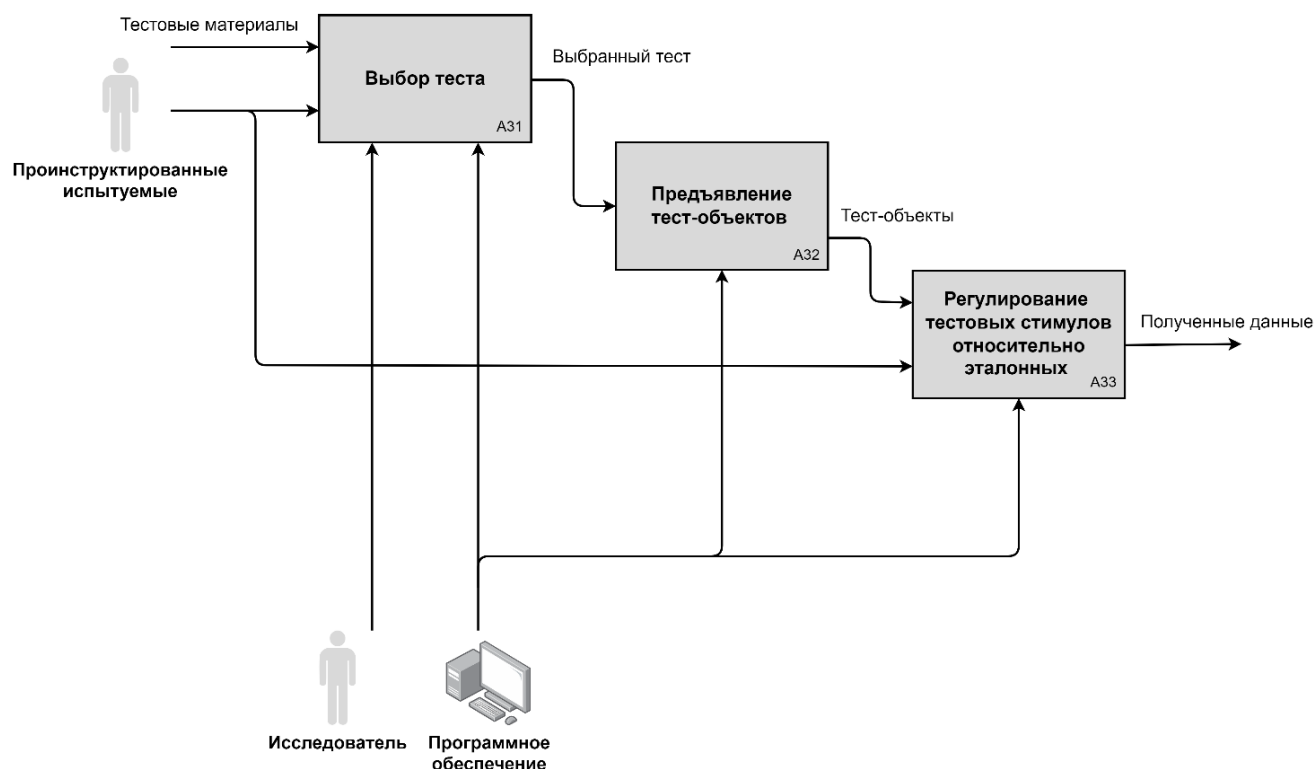


Рис. 2.4. Этап проведения тестирования

Предварительная и статистическая обработка данных осуществляется ПО и включает:

- 1) поиск и очистку заведомо ошибочных значений: пропусков, выбросов и других несоответствий, которые могут исказить результаты анализа;
- 2) методы описательной статистики: вычисление средних значений, медианы, стандартного отклонения и других мер центральной тенденции и разброса данных;
- 3) первичную визуализацию данных, позволяющую лучше понять их структуру и распределения для дальнейшего анализа и выявления закономерностей.

Анализ статистически обработанных данных, осуществляемый исследователем, включает методы корреляционного и регрессионного анализа, а также статистические тесты для проверки гипотез и определения статистически значимых различий между группами данных.

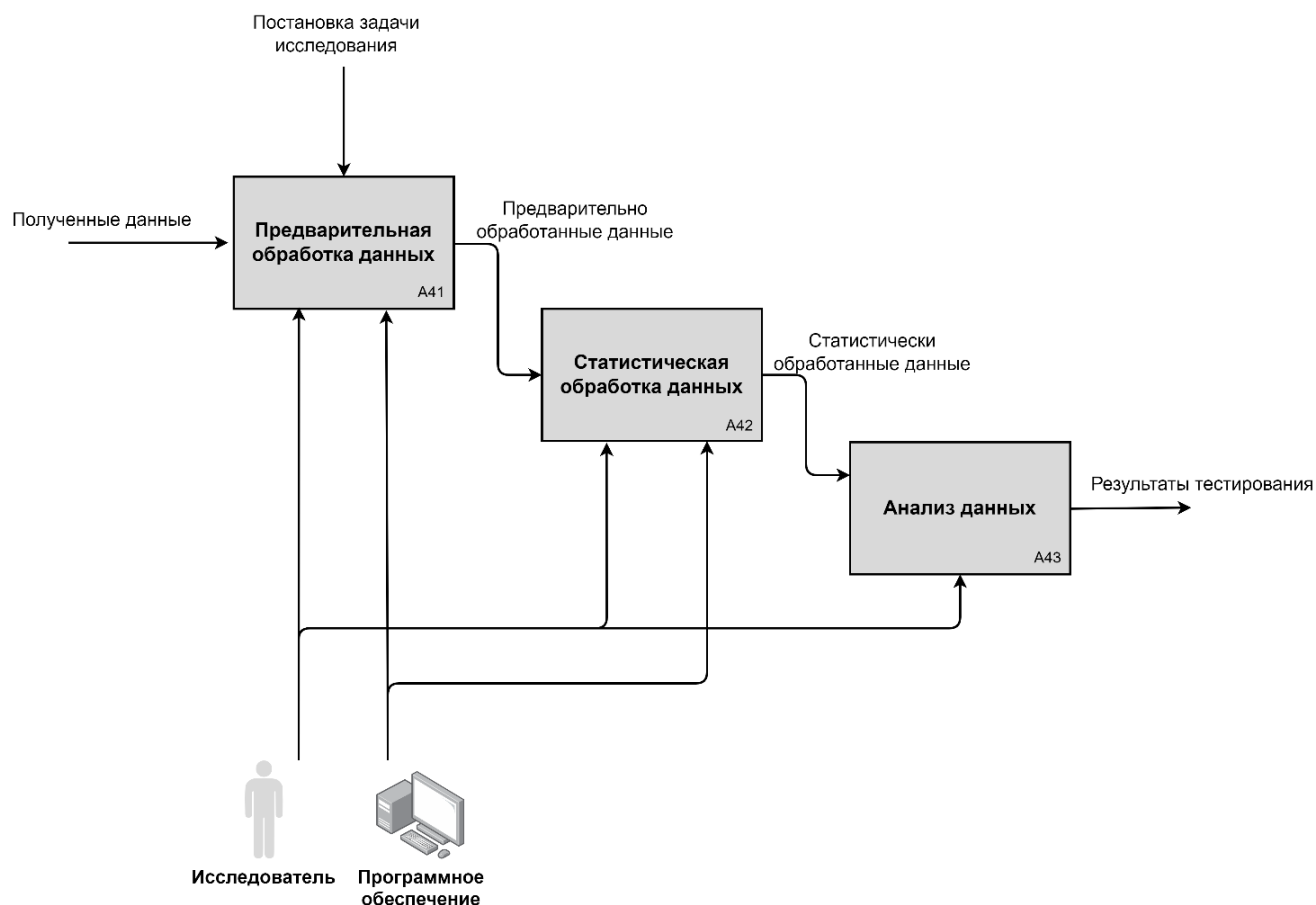


Рис. 2.5. Обработка и анализ результатов тестирования

## 2.2. Проектирование системы тестирования

Важным шагом для разработки системы является функциональное моделирование процесса. На начальном этапе необходимо определить роли пользователей системы и их функциональные возможности.

Из раскрытого в разделе 2.1 процесса тестирования выделены два вида пользователей системы: испытуемые и исследователь. Графическое представление функциональных требований к системе, моделирующих способы взаимодействия пользователей с системой, представлены диаграммами UML (англ. unified modeling language – унифицированный язык моделирования).

На Рис. 2.6 схематически изображена обобщенная UML-диаграмма вариантов использования. Данная диаграмма в общем виде отображает варианты применения (сценарии), акторов (ролей, взаимодействующих с системой) и отношения между ними.

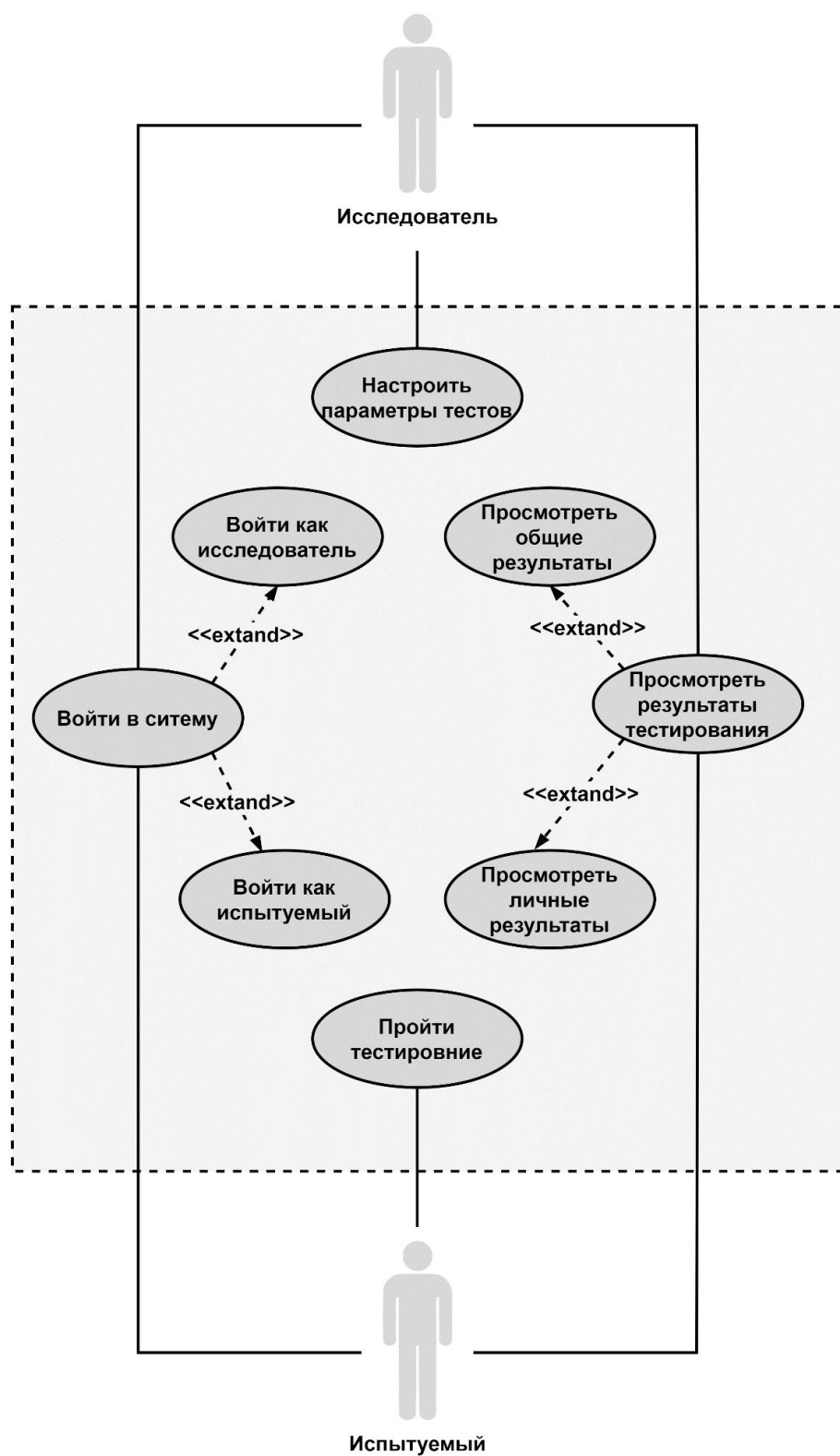


Рис. 2.6. Обобщенная UML-диаграмма вариантов использования

Базовые сценарии: «Войти в систему» (для исследователя и испытуемого), «Настроить параметры тестов» (для исследователя), «Пройти тестирование» (для

испытуемого) и «Просмотреть результаты тестирования» (для исследователя и испытуемого).

В начале взаимодействия с системой осуществляется непосредственно вход в саму систему. Система предлагает пользователю два варианта входа: «Войти как исследователь» или «Войти как испытуемый». Данные сценарии являются расширением варианта использования «Войти в систему», при этом для указанных типов пользователей сформированы свои функциональные возможности взаимодействия с системой.

Вариант использования «Войти как исследователь» предоставляет функционал работы, связанный с разработкой тестовых материалов («Настроить параметры тестов») и с просмотром результатов тестирования («Просмотреть общие результаты тестирования»). В случае сценария «Войти как испытуемый» предоставляется возможность сценариев «Пройти тестирование» и «Просмотреть личные результаты».

Вариант использования «Войти как исследователь» обеспечивает функционал работы, связанный с разработкой тестовых материалов («Настроить параметры тестов») и с просмотром результатов тестирования («Просмотреть общие результаты тестирования»). В случае сценария «Войти как испытуемый» предлагает возможность сценариев «Пройти тестирование» и «Просмотреть личные результаты».

Для уточнения и дополнения обобщенной модели вариантов использования на Рис. 2.7 Рис. 2.10 представлены UML-диаграммы вариантов отдельно как для исследователя, так и для испытуемого.

**Исследователь.** Сценарий «Войти в систему как исследователь» включает следующие варианты использования: «Вести данные» и «Задать пароль администратора» (Рис. 2.7). При первом входе исследователь заполняет личные данные и задает пароль для ограничения доступа к системе для других типов пользователей. При последующем входе в систему исследователь вводит свои личные данные (фамилию, имя, отчество) и пароль, после чего система предоставляет полный доступ к функционалу системы.

Функционал системы для исследователя дает возможность настройки параметров тестов. Исследователю предлагаются варианты использования «Выбрать тип иллюзии для настройки» и «Выбрать тип настраиваемых объектов». Для данных вариантов обеспечивается включение дополнительных модулей ПО, предназначенных для тестирования иллюзий. При этом в зависимости от задач исследования и подключённых модулей выбор типа иллюзий для настройки и типа настраиваемых параметров может расширяться путем разработки новых модулей. Также исследователю доступны результаты тестирования как отдельных испытуемых, так и всей выборки испытуемых в целом.

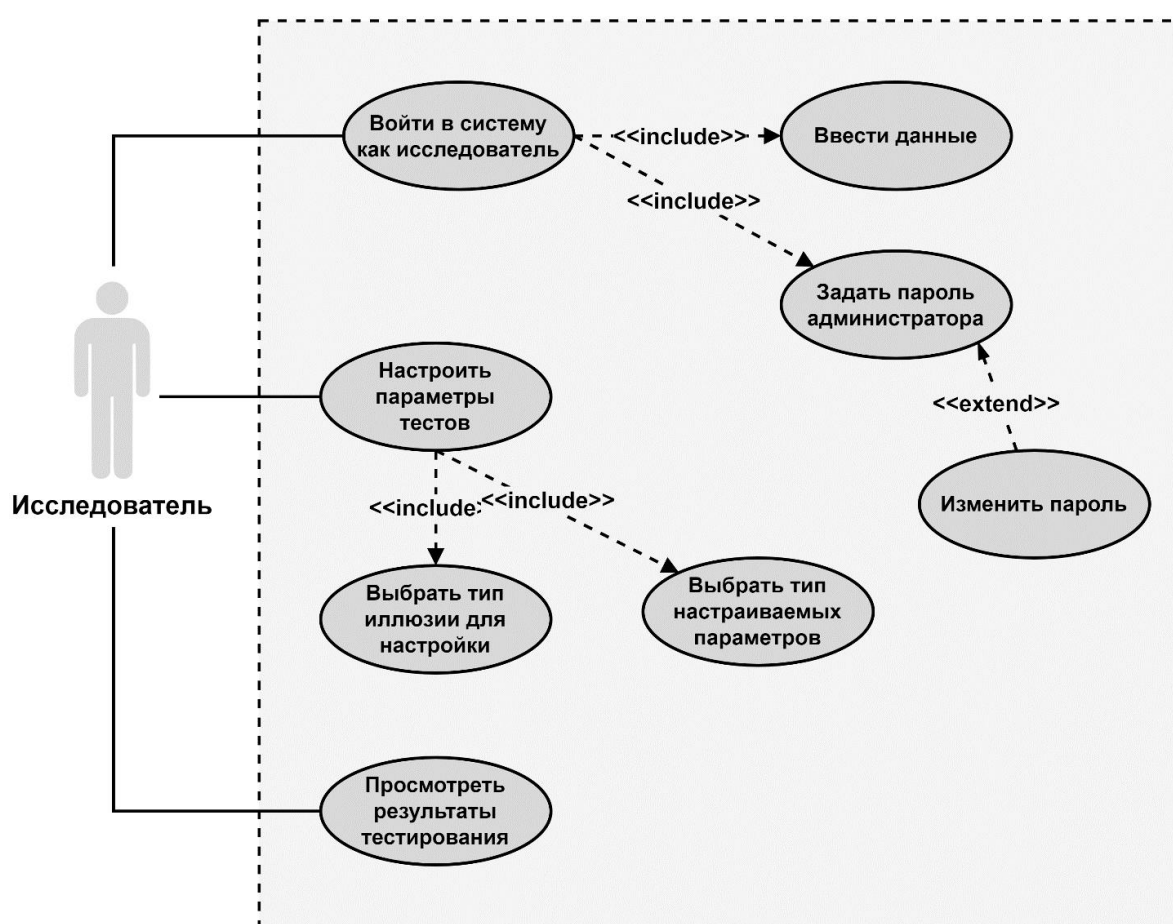


Рис. 2.7. Сценарии использования системы исследователем

Для детализации особенностей алгоритмической и процедурной реализации выполняемых системой операций и ее взаимодействия с исследователем разработана также UML-диаграмма деятельности исследователя (Рис. 2.8). Диаграмма

отражает последовательность операций процесса взаимодействия системы и исследователя и возможные для него варианты исполнения процесса.

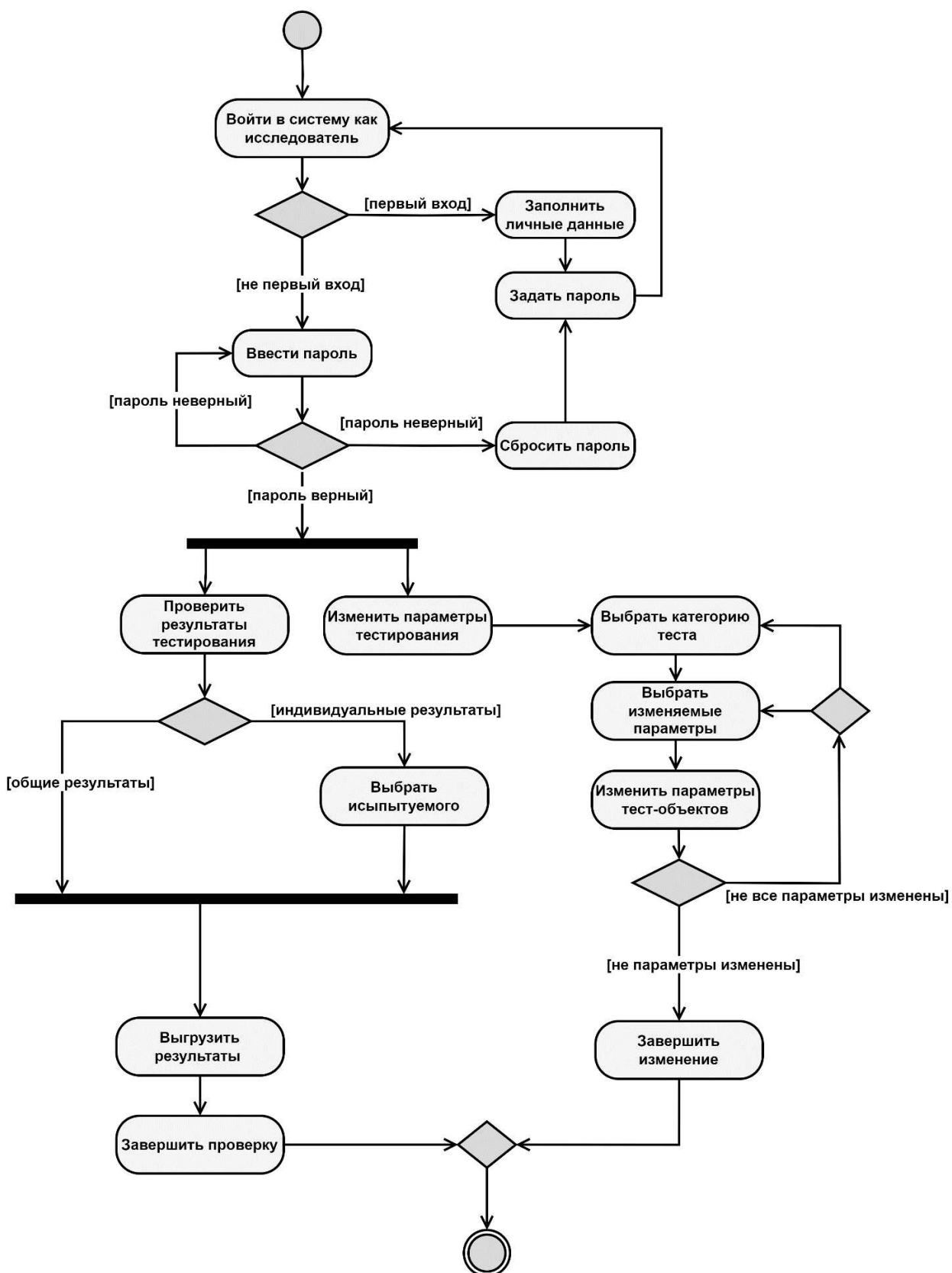


Рис. 2.8. Алгоритм взаимодействия исследователя с системой



**Испытуемый.** Сценарий варианта использования «Войти в систему как испытуемый» является расширением для вариантов «Ввести данные» и «Войти как анонимный пользователь» (Рис. 2.9). Испытуемому предлагается выбрать один из вариантов, после чего система сохраняет данные о нем в базе данных. В случае анонимного входа испытуемому присваивается анонимное имя и порядковый ID анонимного пользователя.

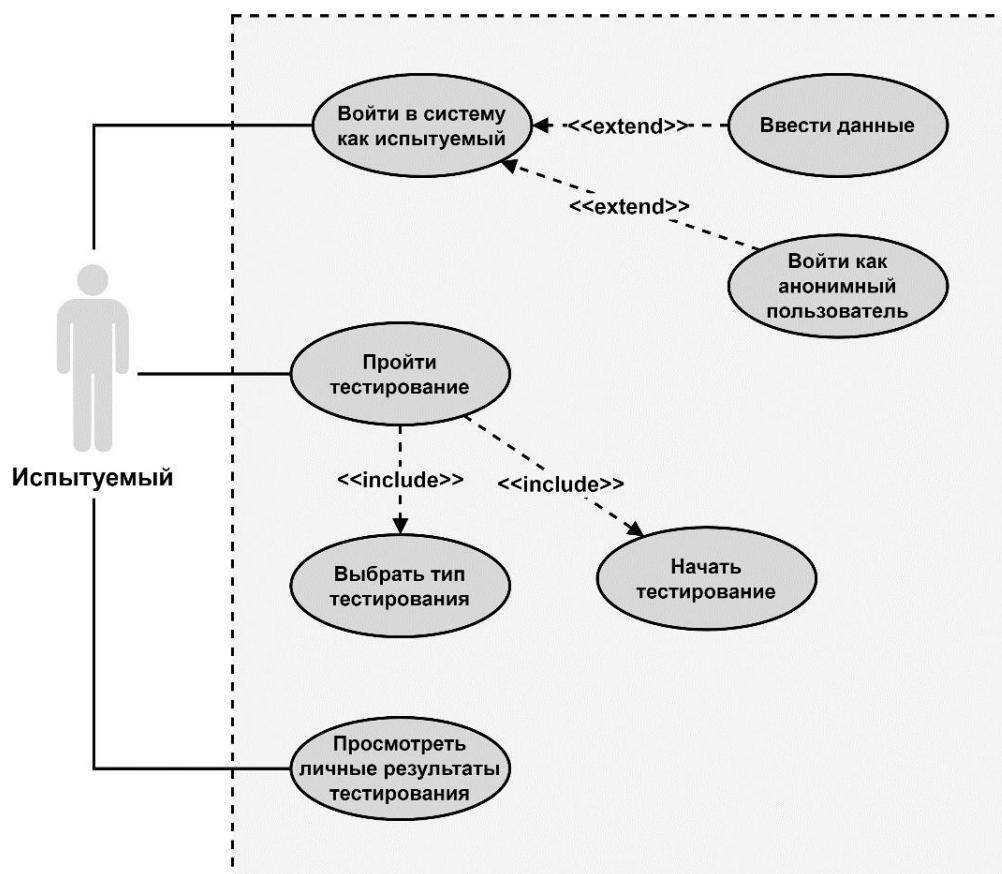


Рис. 2.9. Сценарии использования системы испытуемым

Функционал системы для исследователя позволяет испытуемому пройти тестирование и посмотреть первичные результаты личных тестов. Сценарий «Пройти тестирование» включает варианты использования «Выбрать тип тестирования» и «Начать тестирование». Тип тестирования испытуемый выбирает согласно инструкциям исследователя.

Последовательность операций и взаимодействия испытуемого с системой представлены на Рис. 2.10.

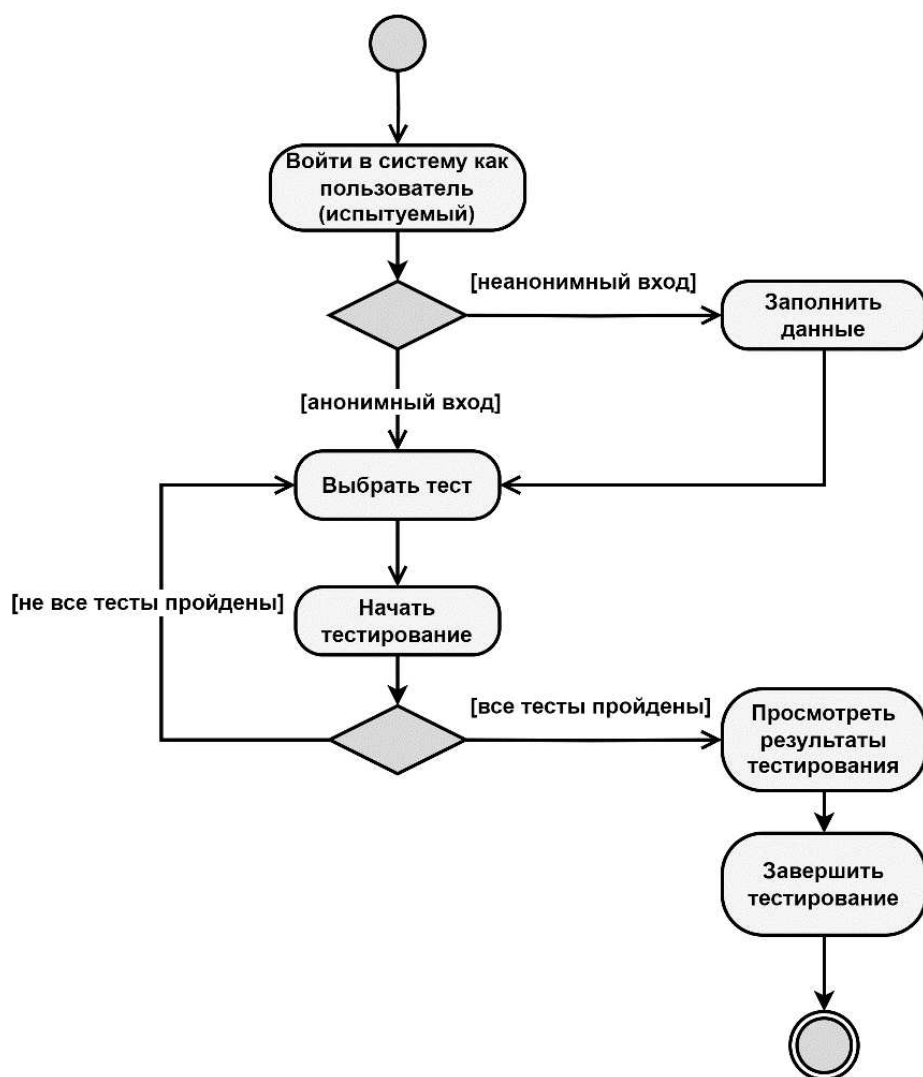


Рис. 2.10. Алгоритм взаимодействия испытуемого с системой

### 2.3. Выводы ко второй главе

В данной главе осуществлена детальная формализация процесса тестирования систематических ошибок зрительного восприятия, что позволило представить его как структурированный информационный процесс, включающий четыре основных этапа: разработку тестовых материалов, проведение инструктажа, реализацию тестовых процедур и последующий анализ результатов.

Каждый из этапов был рассмотрен с точки зрения его функционального наполнения, информационных входов и выходов, а также взаимодействия между участниками процесса – исследователями, испытуемыми и программным обеспечением.

Важным результатом стало построение UML-диаграмм вариантов использования и диаграмм деятельности, позволяющих описать поведение системы и ее пользователей в формализованном виде. Предложенная модель тестирования и проектируемая система на ее основе обеспечивают воспроизводимость, масштабируемость и методическую строгость проводимых экспериментов, что создает надежную основу для проведения эмпирических исследований.

### **ГЛАВА 3. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБОК ЗРИТЕЛЬНОГО ВОСПРИЯТИЯ**

В настоящей главе рассматриваются особенности разработки автоматизированной системы, предназначенной для проведения тестирования зрительного восприятия в условиях возникновения зрительных иллюзий.

Актуальность создания подобной системы обусловлена необходимостью получения достоверных данных о закономерностях формирования систематических ошибок восприятия, возникающих при предъявлении искажённой визуальной информации. Анализ существующих технических решений позволяет выявить их ограничения и обосновать необходимость разработки новой гибкой архитектуры, способной учитывать широкий спектр исследовательских задач и адаптироваться к различным типам визуальных стимулов.

Представленная система сочетает аппаратные и программные модули, обеспечивая полноформатную автоматизацию процесса тестирования и расширенные возможности анализа данных.

Основные результаты работы, описанные в данной главе, опубликованы в работах [34-36, 43-45, 130].

#### **3.1. Область и уровень техники предлагаемой системы**

Разработанная система относится к области психологии и психофизики, в частности, к системам тестирования зрительного восприятия. Система предназначена для определения зрительного восприятия испытуемых и используется для исследований различных факторов, оказывающих влияние на величину зрительных иллюзий, возникающих у испытуемых. Рассмотрим наиболее близкие аналоги предлагаемой системы.

Из существующего уровня техники известно техническое решение – управляемая компьютером система тестирования, предназначенная для

одновременного тестирования нескольких пользователей в центре тестирования [148]. Основные компоненты системы включают:

- a) Портативные устройства тестирования с сенсорными экранами и микропроцессором;
- b) Хранение тестов (вопросы, варианты ответов, порядок следования) на внутреннем носителе;
- c) Дисплей для вывода вопросов и интерактивных панелей ввода ответов;
- d) Сенсорный экран, позволяющий пользователю вводить ответы и команды путем прикосновения;
- e) Случайная генерация порядка вопросов для индивидуализации тестирования;
- f) Сохранение ответов пользователя на устройстве;
- g) Автономное питание, позволяющее использовать устройства независимо.

Система обеспечивает отображение тестов, сбор и хранение ответов, управление интерфейсом через сенсорный экран и возможность варьирования порядка вопросов для повышения объективности.

Анализ технического решения, представленного в патенте, позволяет выделить ряд его существенных достоинств. К ним относятся автономность и портативность устройств, обеспечивающие возможность проведения тестирования вне стационарных условий; интерактивность за счёт использования сенсорного экрана; индивидуализация тестов посредством случайной последовательности заданий; локальное хранение результатов, а также возможность одновременного обслуживания нескольких пользователей.

В то же время данное решение имеет ряд существенных ограничений, обусловленных технологическим уровнем времени его разработки. Среди них – отсутствие сетевого взаимодействия и централизованного сбора данных, ограниченная адаптивность интерфейса, невозможность интеграции мультимедийных элементов, а также общее устаревание аппаратной и программной архитектуры.

Наиболее близким аналогом является техническое решение, описанное в патенте «Система определения зрительного восприятия» [1]. Техническое решение, представленное в патенте, представляет собой компьютеризированную тестовую платформу, в которой реализовано визуальное предъявление стимулов, включающих движущуюся точку и ограниченные области на экране. Пользователь осуществляет выбор вариантов ответа с использованием клавиатуры, а результаты фиксируются в автоматизированном режиме. Система предназначена для оценки особенностей визуального восприятия и пространственного отслеживания движения.

Несмотря на относительную новизну, данное решение имеет ряд функциональных и методологических ограничений:

- а) система ориентирована на узкий класс зрительных задач, преимущественно связанных с отслеживанием траекторий движения, и не предусматривает многообразия типов зрительных иллюзий;

- б) отсутствует возможность гибкой настройки стимулов, как по содержанию, так и по параметрам предъявления (размер, контрастность, временные характеристики);

- с) не реализована поддержка монокулярного и бинокулярного режима восприятия, что ограничивает возможности изучения глубинного и пространственного восприятия;

- д) архитектура системы строго сцеплена с конкретным сценарием, что затрудняет её адаптацию к новым исследовательским задачам;

- е) отсутствует модульная организация программной части, необходимая для масштабирования и интеграции новых методов анализа данных.

Таким образом, оба решения не предусматривают возможность предъявления визуальных стимулов, способных вызывать зрительные иллюзии, что делает их непригодными для анализа систематических ошибок восприятия в условиях искажённой зрительной информации. Кроме того, функциональность систем строго ограничена фиксированными сценариями без возможности гибкой настройки параметров стимулов.

Также отсутствует поддержка монокулярного и бинокулярного режимов тестирования, что существенно сужает экспериментальные возможности, особенно при исследовании глубинного восприятия. Интерфейс систем не адаптируется к особенностям пользователя и не позволяет реализовать сложные исследовательские сценарии.

Дополнительно стоит отметить ограниченные аналитические функции – обе системы ориентированы преимущественно на сбор данных без встроенных модулей для их полноценной обработки и анализа. Отсутствие модульной архитектуры затрудняет масштабирование и расширение функционала в рамках развивающихся исследовательских задач.

### **3.2. Предлагаемое техническое решение**

На основе описанной в главе 2 методологии тестирования предлагается использование автоматизированной системы, позволяющей осуществлять оценку зрительного восприятия испытуемых в условиях возникновения иллюзий [34]. Данная система может быть применена для исследования различного класса зрительных иллюзий.

На Рис. 3.1 представлена структурная схема автоматизированной системы тестирования систематических ошибок зрительного восприятия. Система тестирования содержит следующие компоненты:

- 1) платформу, представляющую площадку для расположения испытуемого и его дальнейшего прохождения тестирования;
- 2) персональный компьютер (ПК), установленный на платформе, включающий клавиатуру для ввода данных, контроллер (компьютерная мышь) и монитор;
- 3) устройство для монокулярного и бинокулярного тестирования [35], также установленное на платформе, является отличительным признаком предложенной системы относительно аналогов. Устройство в виде установки позволяет ограничить видимость предъявляемым тест-объектом.

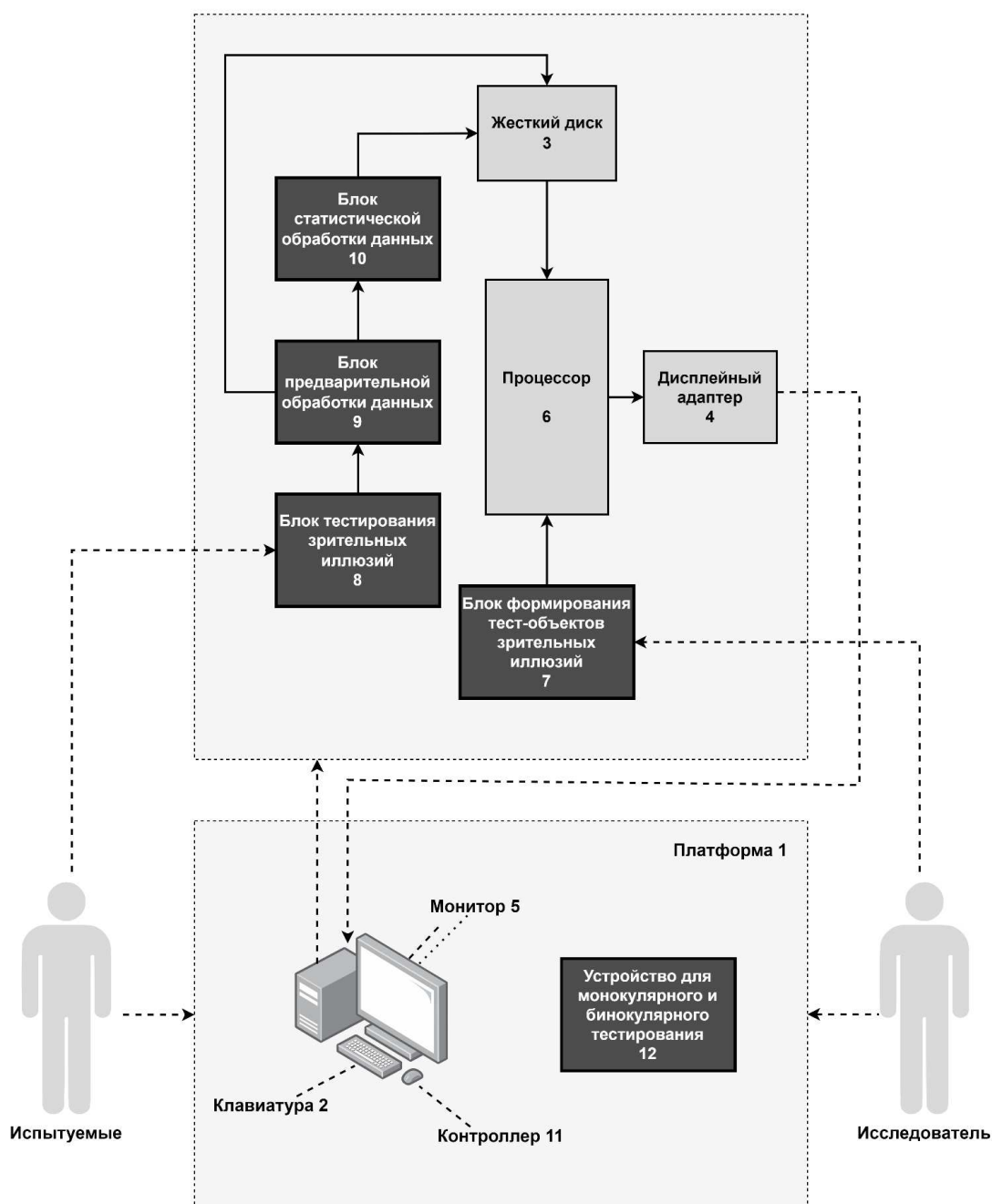


Рис. 3.1. Автоматизированная система тестирования

При этом на схеме изображены основные компоненты, использующиеся в ПК: жесткий диск для хранения данных, дисплейный адаптер для преобразования получаемой информации в визуальные элементы и процессор.

Кроме аппаратной части, система включает ПО, реализующее следующие функции (Рис. 3.2):

1. Формирование тест-объектов зрительных иллюзий;
2. Организация процедуры тестирования;



3. Предварительная обработка экспериментальных данных;
4. Статистическая обработка и анализ результатов.

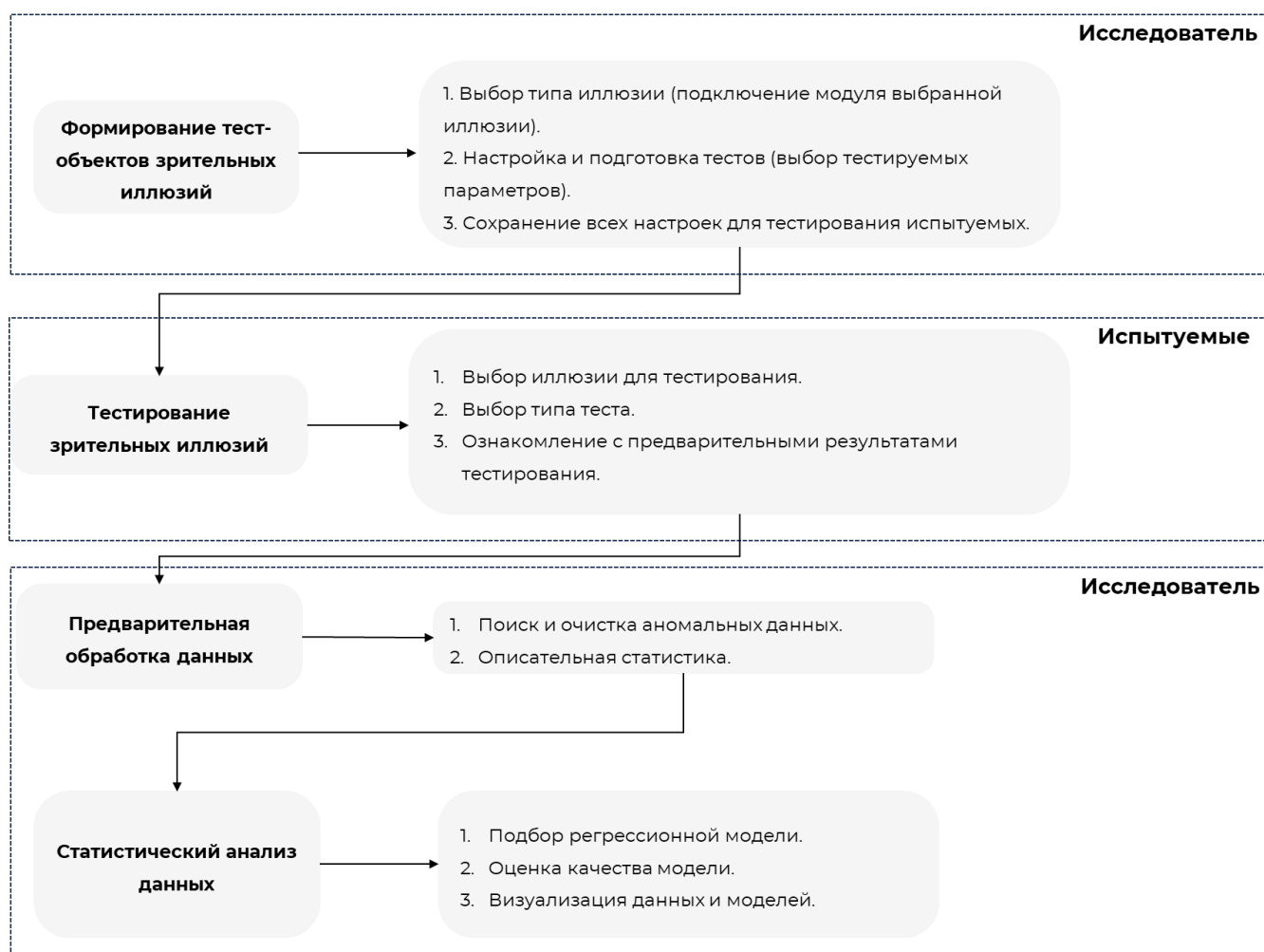
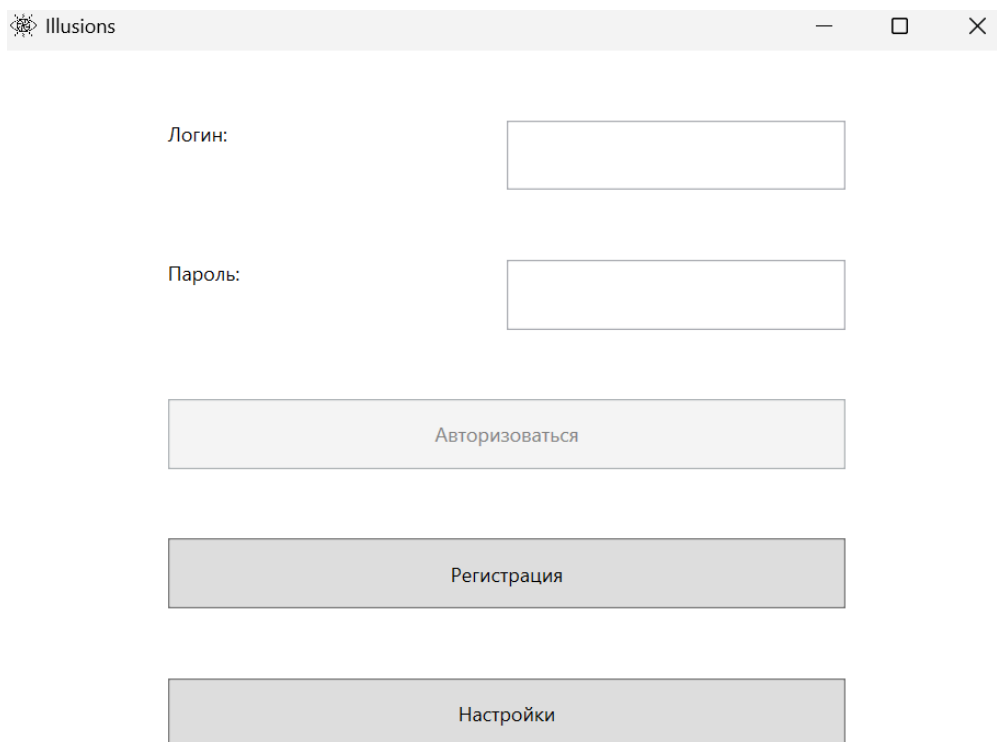


Рис. 3.2. Программно реализуемые блоки системы тестирования

Рассмотрим подробнее программный комплекс, реализующий основные задачи и функции автоматизированной системы.

Первое окно программы включает авторизацию и регистрацию пользователей, а также настройки для администратора системы (Рис. 3.3). Пользователь вводит логин и пароль для входа в систему и переходит к этапу выбора типа тестов. В случае первого участия в тестированиях пользователь проходит процедуру регистрации, включающую создание логина и пароля, ввода ФИО, пола и возраста (Рис. 3.4).



Логин:

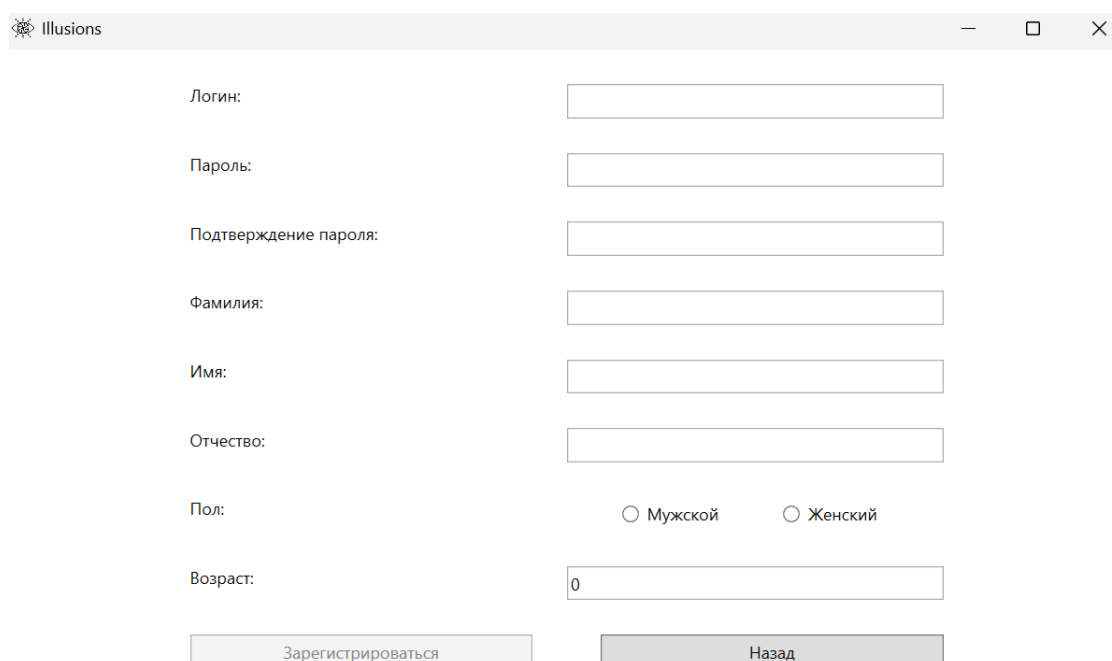
Пароль:

Авторизоваться

Регистрация

Настройки

Рис. 3.3. Окно авторизации пользователей системы



Логин:

Пароль:

Подтверждение пароля:

Фамилия:

Имя:

Отчество:

Пол: ☐ Мужской ☐ Женский

Возраст: 0

Зарегистрироваться

Назад

Рис. 3.4. Окно регистрации пользователей

Важной составляющей тестирования является подготовка тестового материала для проведения экспериментов – формирование тест-объектов зрительных иллюзий (Рис. 3.5). Настройка тест-объектов исследователем включает изменение

фиксированных параметров тест-объекта для создания одинаковых условий тестирования всех испытуемых и выполняется в соответствии с задачами исследования. Настройка позволяет зафиксировать цвет фона и геометрических частей тест-объектов, а также их размеры.

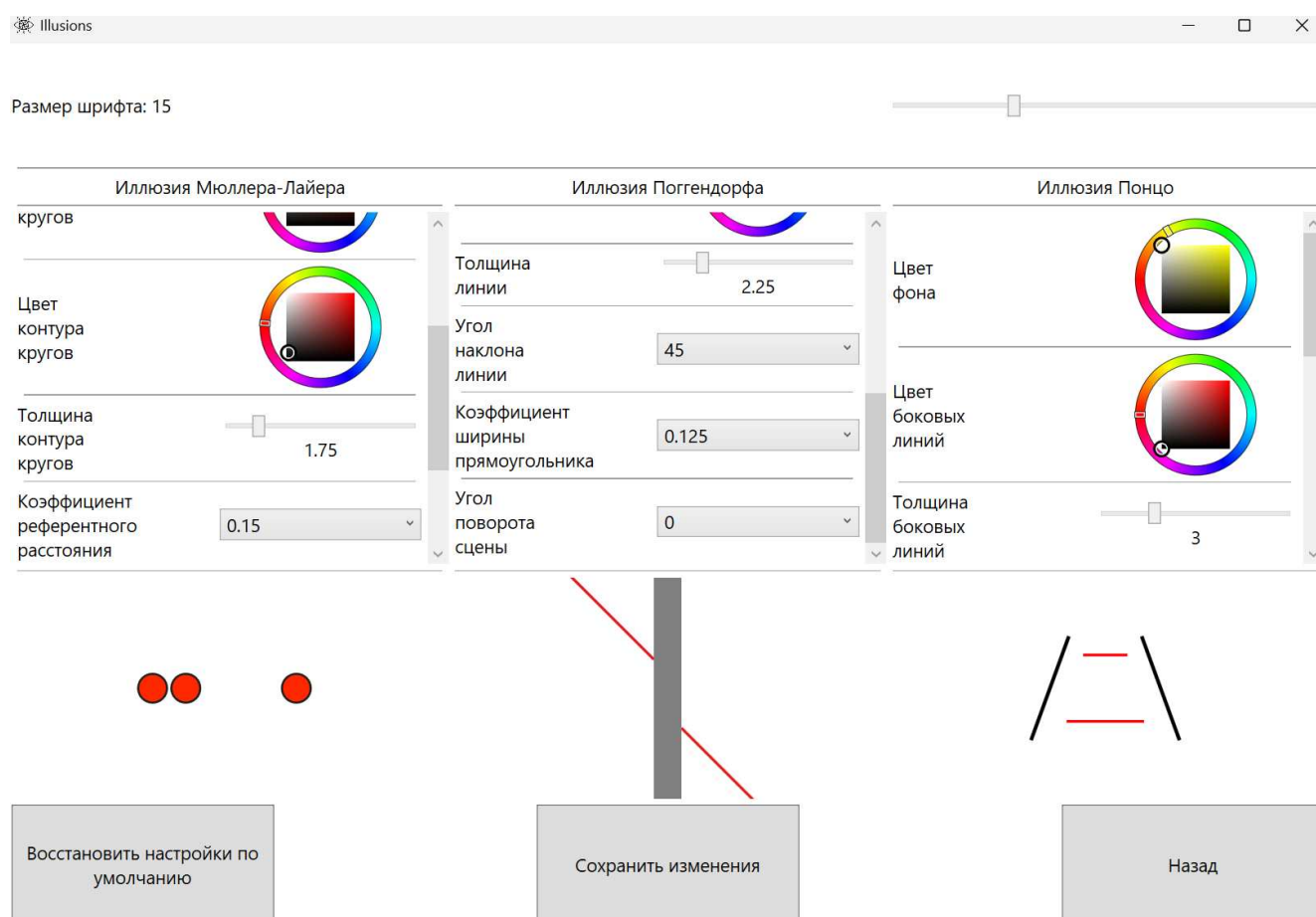


Рис. 3.5. Окно настройки параметров тест-объектов

Процедура тестирования испытуемого начинается с выбора пользователем типа теста (Рис. 3.6). В зависимости от постановки задачи исследования пользователь выбирает тип иллюзии и тестирования. После чего приступает непосредственно к самому тестированию (эксперименту). Процедура тестирования, статистическая обработка и анализ данных тестирования представлены более подробно в главе 4 на примере исследования геометрических иллюзий Поггендорфа, Мюллера-Лайера и Вунда-Фика.

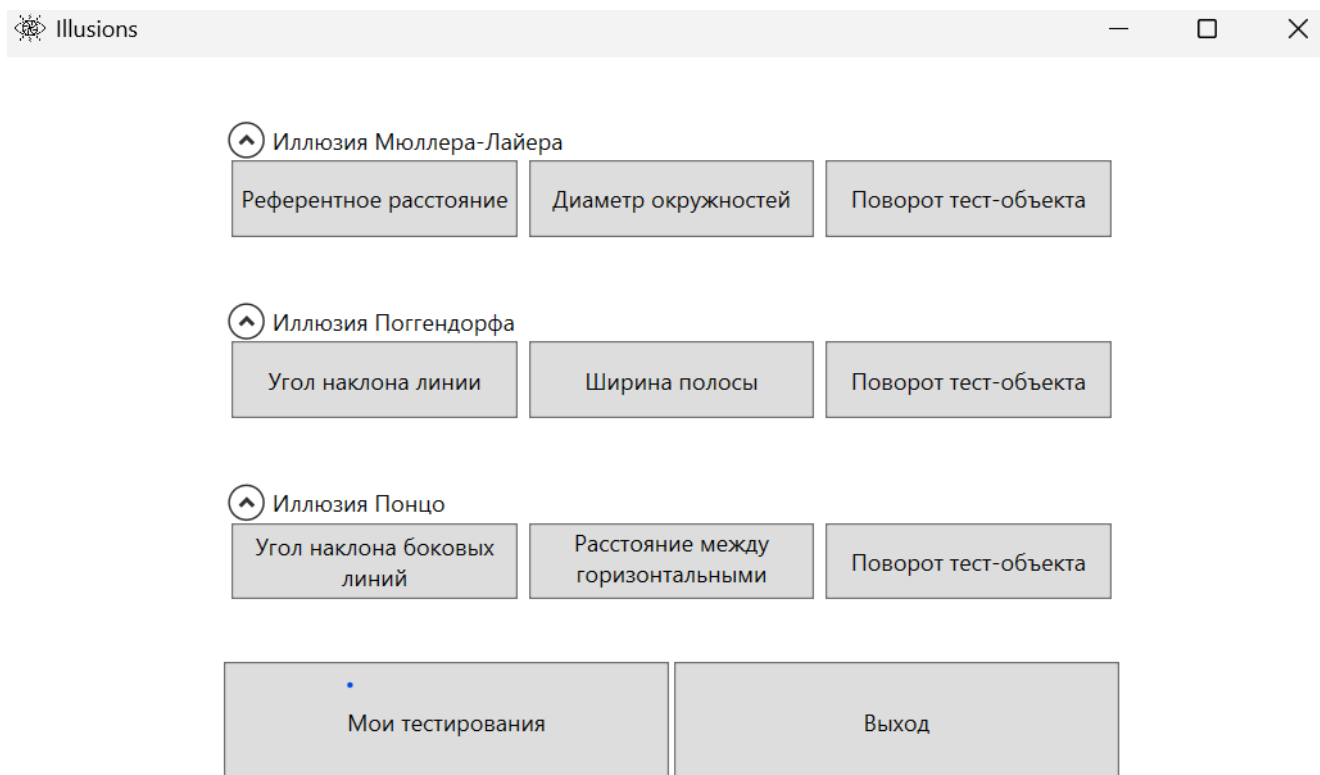


Рис. 3.6. Окно выбора типа тестирований для пользователей

Комплексное использование аппаратных и программных средств позволяет автоматизировать основные этапы тестирования, минимизируя участие исследователя на рутинных стадиях и тем самым повышая эффективность экспериментов. Дополнительным преимуществом является возможность проведения как монокулярного, так и бинокулярного тестирования, что расширяет спектр задач и направлений исследования в области психофизиологии восприятия.

Техническим результатом приведенной системы является повышение эффективности тестирования зрительного восприятия испытуемых, сокращение временных затрат исследователя. Данный результат достигается за счет расширения функциональных возможностей системы путем добавления технических и программных средств, позволяющих проводить тестирование зрительного восприятия кандидатов в условиях возникновения иллюзий, а также возможность осуществления монокулярного и бинокулярного наблюдения испытуемым в зависимости от задач исследователя.

При этом система позволяет проводить тестирования как индивидуально с каждым испытуемым отдельно на одном ПК, так и с группой испытуемых в специально оборудованных помещениях, заранее подготовленных для тестирования. Для удобства второго типа тестирований разработаны методы и системы, использующие локальную сеть [36].

Система является гибкой и расширяемой, предполагается возможность подключения дополнительных модулей для исследования различного класса иллюзий. В частности, в данной работе используются программные модули на основе ПО [43-45]. В дальнейшем также предполагается использование методов разработки геораспределенных систем [146].

### **3.3. Выводы к третьей главе**

1. Разработанная система ориентирована на проведение исследований зрительного восприятия в условиях предъявления искажённых визуальных стимулов, что позволяет изучать широкий спектр зрительных иллюзий и выявлять закономерности формирования систематических ошибок восприятия.

2. В отличие от известных технических решений, система поддерживает как монокулярный, так и бинокулярный режимы тестирования, что расширяет экспериментальные возможности, особенно при изучении глубинного и пространственного восприятия.

3. Конструктивной особенностью системы является наличие устройства ограничения поля зрения, позволяющего точно управлять визуальной нагрузкой на испытуемого.

4. Интеграция программных модулей, обеспечивающих формирование тест-объектов, организацию процедуры тестирования, а также последующую обработку и анализ данных, обеспечивает высокий уровень автоматизации и минимизирует необходимость ручного вмешательства на этапах сбора и интерпретации информации.

5. Архитектура системы реализована на модульной основе, что обеспечивает её гибкость, масштабируемость и возможность дальнейшего функционального расширения за счёт подключения новых компонентов и алгоритмов обработки данных.

6. Система может применяться как в индивидуальном, так и в групповом формате, при этом в последнем случае реализована поддержка локальной сети для синхронизации рабочих станций и централизованного сбора результатов.

Таким образом, предложенное техническое решение представляет собой универсальный инструмент для проведения психофизиологических исследований зрительного восприятия, обладающий функциональными преимуществами по сравнению с существующими аналогами.

## ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ИЛЛЮЗИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

В данной главе приведен пример реализации разработанной системы и методологии тестирования систематических ошибок зрительного восприятия. Проведено исследование следующих геометрических иллюзий: 1) иллюзия пересечения (иллюзия Поггендорфа); 2) иллюзия расстояния между краями объектов (иллюзия Мюллера-Лайера); 3) вертикально-горизонтальная иллюзия (иллюзия Вунда-Фика). Основные результаты исследования, описанные в данной главе, представлены в работах [41, 46, 130, 131, 144].

### 4.1. Постановка задачи исследования

Объектом исследования служат геометрические иллюзии: иллюзия Поггендорфа, иллюзия Мюллера-Лайера и иллюзия Вунда-Фика. Предметом исследования является зависимость величины систематических ошибок  $\Delta I$  ( $\Delta L$  – ошибка смещения в иллюзии Поггендорфа,  $\Delta S$  – ошибка расстояния в иллюзии Мюллера-Лайера,  $\Delta l$  – ошибка длины в вертикально-горизонтальной иллюзии) зрительного восприятия от геометрических параметров  $G$ , вызывающих данные иллюзии.

Цель исследования заключается в выявлении статистических зависимостей систематических ошибок  $\Delta I$ , порождаемых иллюзиями, от геометрических параметров  $G$  и в построении моделей, наиболее адекватно описывающих данные зависимости.

Рассмотрим постановку задачи исследования для каждой геометрической иллюзии в отдельности.

**Иллюзия Поггендорфа.** На Рис. 4.1 представлена схема, демонстрирующая эффект зрительной иллюзии пересечения прямой, проходящей за непрозрачной полосой. Иллюзия проявляется в субъективно неправильном определении

коллинеарного продолжения выходного отрезка прямой относительно входного на определенную величину  $\Delta L$ .

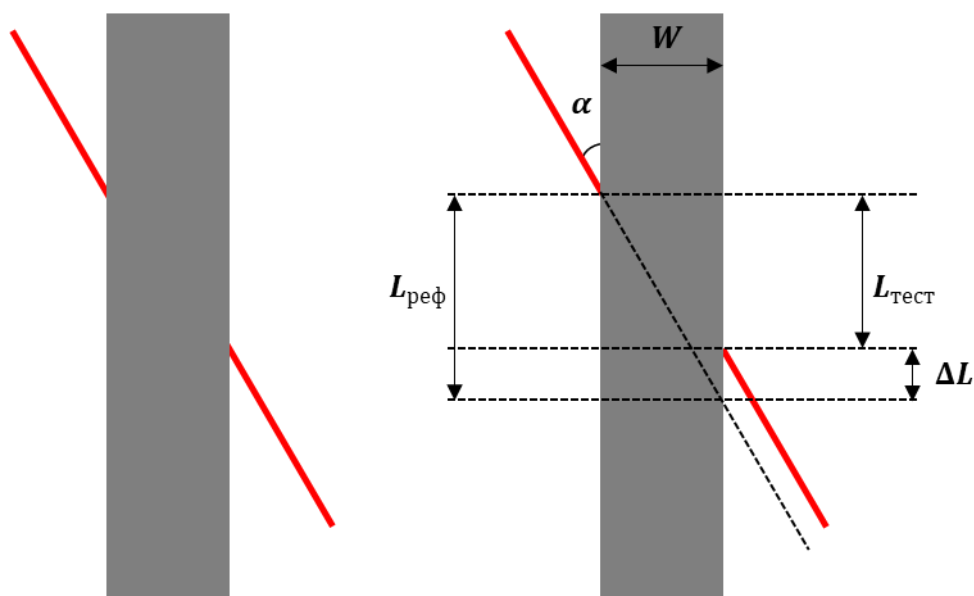


Рис. 4.1. Схема зрительной иллюзии пересечения (иллюзии Поггендорфа)

Значение  $L_{\text{реф}}$  представляет собой расстояние между входной точкой прямой, примыкающей к полосе, до выходной точки, являющейся коллинеарным продолжением прямой, выходящей за полосой. Значение  $L_{\text{тест}}$  – расстояние между входной точкой прямой, примыкающей к полосе, до выходной точки, субъективно смещенной относительно коллинеарности прямой. При этом ошибка смещения  $\Delta L$  определяется следующим выражением:

$$\Delta L = L_{\text{реф}} - L_{\text{тест}}.$$

Известно, что иллюзия Поггендорфа зависит от геометрических параметров ширины  $W$  полосы и угла  $\alpha$  наклона прямой [5, 53, 143]. Также известно, что иллюзия наиболее сильно проявляется при предъявлении тест-объекта в горизонтальном и вертикальном положении полосы [83].

Однако необходимо понять, является ли ошибка смещения статистически значимой при любой конфигурации поворота тест-объекта (Рис. 4.2) и какие модели



наиболее точно описывают зависимости иллюзии от геометрических параметров тест-объекта.

Таким образом, общая структура постановки задачи исследования иллюзии Поггендорфа заключается в определении:

- 1) статистической зависимости ошибки смещения  $\Delta L$  от параметров ширины  $W$  полосы;
- 2) статистической зависимости ошибки смещения  $\Delta L$  от параметров угла  $\alpha$  наклона прямой;
- 3) статистической зависимости ошибки смещения  $\Delta L$  от параметров угла  $\varphi$  поворота тест-объектов.

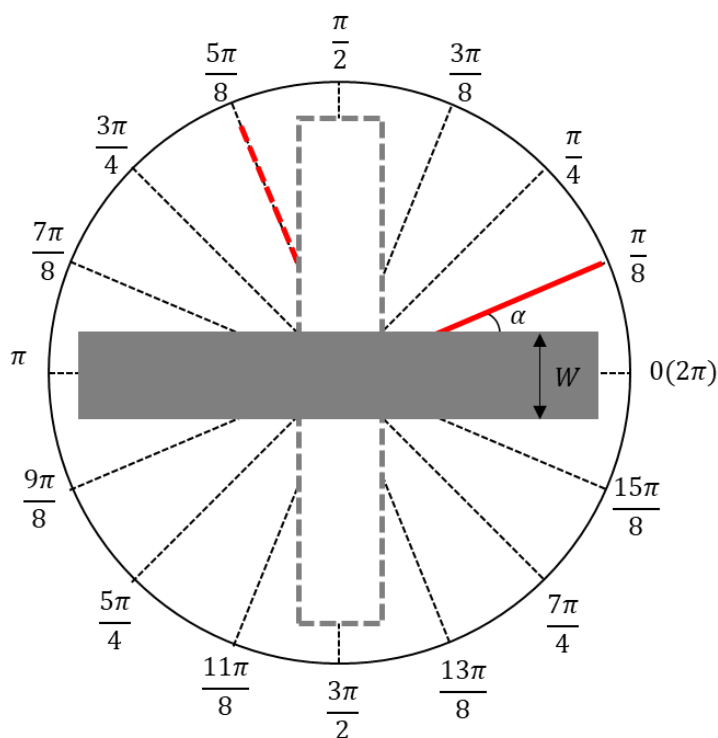


Рис. 4.2. Диапазон вариаций угла поворота  $\varphi$  для иллюзии Поггендорфа

**Иллюзия Мюллера-Лайера.** Для демонстрации эффекта иллюзии Мюллера-Лайера выбраны относительно простые геометрические фигуры – окружности (Рис. 4.3). Иллюзия проявляется в неправильной оценке расстояния  $S_{\text{реф}}$  между внешними краями первой и второй окружности относительно расстояния  $S_{\text{тест}}$

между внутренними краями второй и третьей окружности. Ошибка расстояния  $\Delta S$  определяется следующим выражением:

$$\Delta S = S_{\text{реф}} - S_{\text{тест}} ,$$

где  $S_{\text{тест}}$  определяется в экспериментах путем перемещения правой окружности испытуемым.

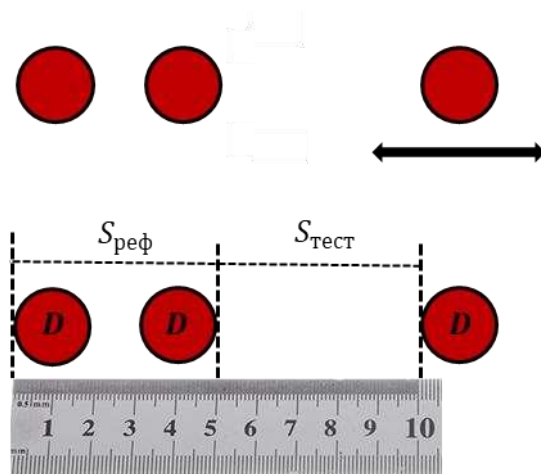


Рис. 4.3. Иллюзия расстояния между краями окружностей

Предметом исследования данной иллюзии является зависимость ошибки расстояния  $\Delta S$  от геометрических параметров  $G$ . Основные геометрические параметры, оказывающие влияние на величину зрительной иллюзии, являются референтное расстояние  $S_{\text{реф}}$  и диаметр окружностей  $D$  [97].

Также для проверки гипотезы о существовании ошибок расстояния  $\Delta S$  при любых конфигурациях тест-объекта необходимо исследовать влияние иллюзии от ориентационных характеристик тест-объекта (Рис. 4.4).

Таким образом, общая структура постановки задачи исследования иллюзии Мюллера-Лайера заключается в определении:

- 1) статистической зависимости ошибки расстояния  $\Delta S$  от параметров длины референтного расстояния  $S_{\text{реф}}$ ;
- 2) статистической зависимости ошибки расстояния  $\Delta S$  от параметров диаметра  $D$  окружностей;

3) статистической зависимости ошибки расстояния  $\Delta S$  от параметров угла  $\varphi$  поворота тест-объектов.

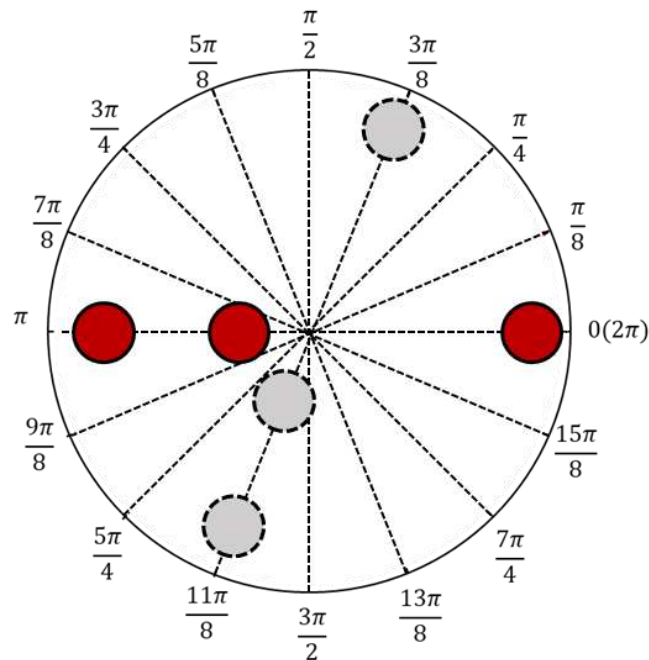


Рис. 4.4. Диапазон вариаций угла поворота  $\varphi$  для иллюзии Мюллера-Лайера

**Иллюзия Вунда-Фика.** Вертикально-горизонтальная иллюзия проявляется в субъективно неверной интерпретации длины вертикального отрезка, относительно горизонтального такой же длины (Рис. 4.5). При попытках уравнивать длину  $l_{\text{верт}}$  вертикального отрезка с длиной  $l_{\text{гор}}$  горизонтального возникает систематическая ошибка  $\Delta l$ , представляющая разницу между длиной вертикального и горизонтального отрезков:

$$\Delta l = l_{\text{гор}} - l_{\text{верт}} ,$$

где  $l_{\text{верт}}$  является значением регулируемого испытуемым вертикального отрезка.

В контексте данной иллюзии исследуется влияние геометрических параметров  $G$  на величину ошибки  $\Delta l$ , связанной с искажённой оценкой вертикальной линии. В качестве таких параметров рассматриваются: местоположение  $P$  вертикальной линии, относительно горизонтальной; угол наклона  $\alpha$  вертикальной линии.

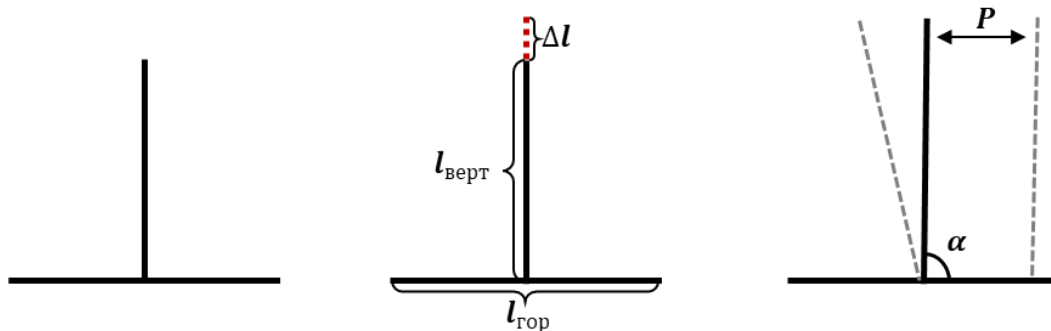


Рис. 4.5. Схема ошибки, возникающей при переоценки вертикальной линии, относительно горизонтальной

Так же, как и для представленных выше иллюзий осуществляется проверка гипотезы о существовании ошибок длины  $\Delta l$  при любых конфигурациях угла поворота тест-объекта (Рис. 4.6).

Таким образом, общая структура постановки задачи исследования иллюзии Вунда-Фика заключается в определении:

- 1) статистической зависимости ошибки длины  $\Delta l$  от параметров местоположения  $P$  вертикальной линии, относительно горизонтальной;
- 2) статистической зависимости ошибки длины  $\Delta l$  от параметров угла  $\alpha$  наклона вертикальной линии, относительно горизонтальной;
- 3) статистической зависимости ошибки длины  $\Delta l$  от параметров угла  $\varphi$  поворота тест-объектов.

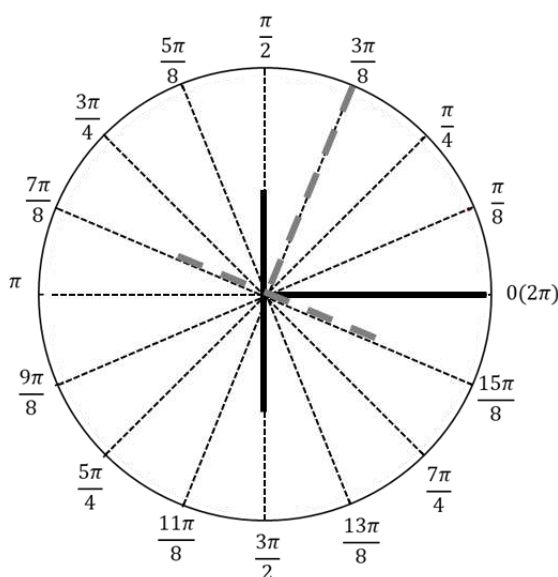


Рис. 4.6. Диапазон вариаций угла поворота  $\varphi$  для иллюзии Вунда-Фика

**Основные гипотезы исследования.** Для каждой представленной иллюзии осуществляется проверка статистических гипотез о значимости моделей их зависимостей от геометрических параметров  $G$ . Также для выявления взаимосвязи ориентационных характеристик зрительного восприятия выдвинуты общие для всех представленных геометрических иллюзий гипотезы:

- 1)  $H_1$ : геометрические иллюзии возникают при любом ориентационном положении тест-объекта;
- 2)  $H_1$ : геометрические иллюзии зависят от угла  $\varphi$  поворота тест-объекта, данная зависимость имеет тригонометрический характер.

#### 4.2. Разработка тестовых материалов и измерительная процедура

Тестовые материалы разрабатываются согласно общей структуре постановки задачи исследования. В качестве тест-объектов для количественного тестирования зрительного восприятия испытуемых используют фигуры, вызывающие геометрические иллюзии. Для каждой иллюзии проведены две серии тестирований (экспериментов): в первой серии осуществлялось тестирование в зависимости от основных геометрических параметров тест-объектов, вторая серия тестирования для каждой иллюзии была направлена на выявление зависимости величины систематических ошибок от ориентационных характеристик тест-объектов.

**Иллюзия Поггендорфа.** При проведении экспериментов (тестирований) с иллюзией Поггендорфа испытуемым предъявляются тест-объекты с определенными параметрами ширины  $W$  полосы, угла  $\alpha$  наклона входного отрезка прямой и угла  $\varphi$  поворота всей тестовой конструкции.

При этом выходной отрезок заранее располагается значительно выше относительно коллинеарности входного. Испытуемый перемещает выходной отрезок до тех пор, пока для его субъективного восприятия входной и выходной отрезки не станут фрагментами одной прямой (Рис. 4.7).

Для первой серии тестирования зрительного восприятия на величину ошибок смещения  $\Delta L$  сформированы 15 тест-объектов (табл. 4.1., Рис. 4.8а,б):

1) 6 тест-объектов с изменяющимися параметрами  $W$  при фиксированных параметрах  $\alpha = \pi/4$  и  $\varphi = \pi/2$  (для определения статистической зависимости  $\Delta L$  от  $W$ );

2) 9 тест-объектов с изменяющимися параметрами  $\alpha$  при фиксированных параметрах  $W = 20$  мм и  $\varphi = \pi/2$  (для определения статистической зависимости  $\Delta L$  от  $\alpha$ ).

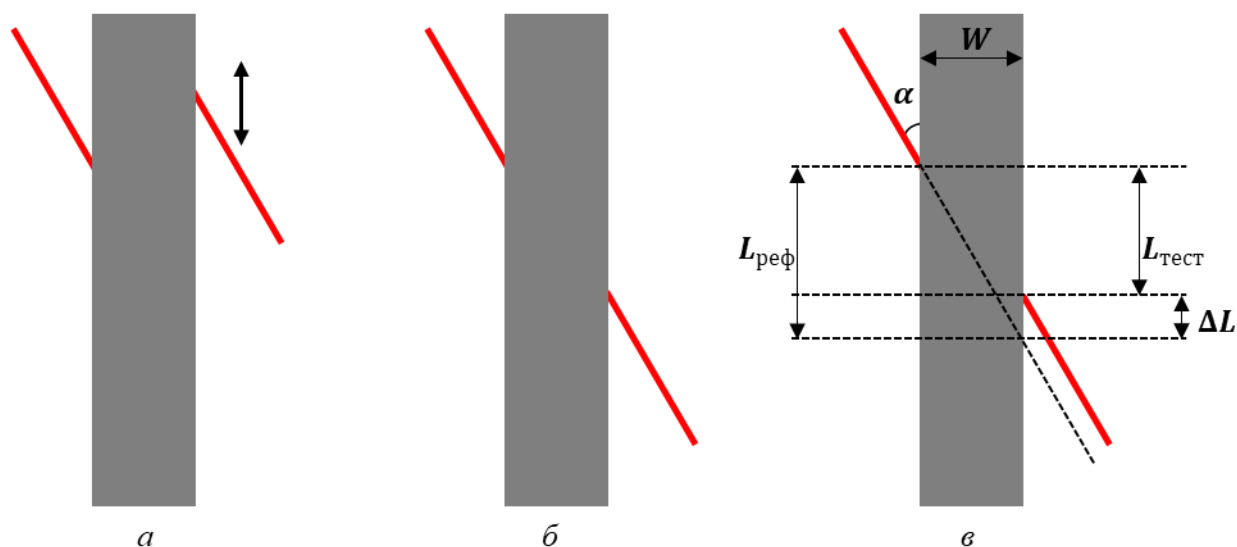


Рис. 4.7. Процесс работы испытуемого с тест-объектом и последующая фиксация данных.  
а) пример тест-объекта, предъявляемый испытуемому; б) пример тест-объекта после манипуляций испытуемого с тестовым отрезком; в) фиксация ошибки смещения  $\Delta L$

Табл. 4.1. Параметры тест-объектов иллюзии Поггендорфа.

1 серия тестирования		2 серия тестирования	
W, мм	$\alpha$ , рад	$\varphi$ , рад	
10	$\pi/8$	0 ( $2\pi$ )	$\pi$
20	$\pi/6$	$\pi/8$	$9\pi/8$
<b>30</b>	$\pi/4$	$\pi/4$	$5\pi/4$
40	$\pi/3$	$3\pi/8$	$11\pi/8$
50	$\pi/2$	$\pi/2$	$3\pi/2$
60	$2\pi/3$	$5\pi/8$	$13\pi/8$
	$3\pi/4$	$3\pi/4$	$7\pi/4$
	$5\pi/6$	$7\pi/8$	$15\pi/8$
	$7\pi/8$		

Для второй серии тестирования, направленной на определение статистической зависимости ошибки смещения  $\Delta L$  от угла  $\varphi$  поворота всей тестовой-

конструкции, сформировано 16 тест-объектов с изменяющимися параметрами  $\varphi$  (табл. 4.1., Рис. 4.8в). Значение углов поворота  $\varphi$  варьируются в диапазоне  $[0; 2\pi]$  с шагом  $\pi/8$  при фиксированных параметрах  $\alpha = [\pi/2; \pi/4; \pi/6]$  и  $W = 20$  мм.

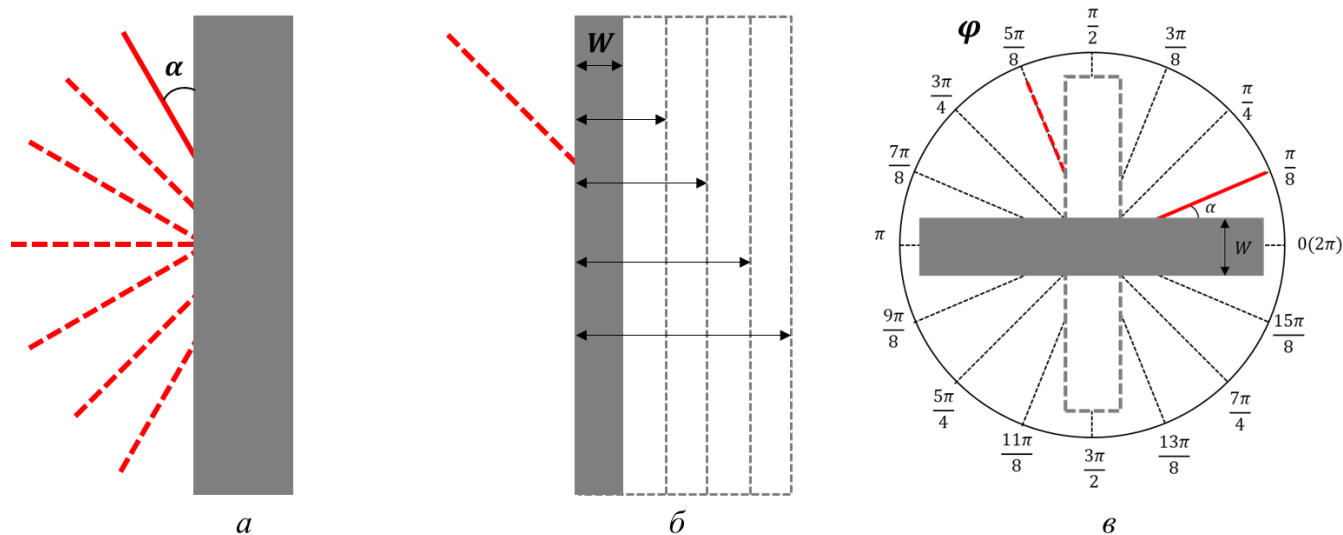


Рис. 4.8. Вариации тест-объектов для исследования зависимости ошибки смещения  $\Delta L$ : а) от ширины  $W$  полосы; б) от угла  $\alpha$  наклона прямой; в) от угла  $\varphi$  поворота тест-объекта

**Иллюзия Мюллера-Лайера.** При проведении экспериментов с иллюзией Мюллера-Лайера испытуемым предъявляются тест-объекты с определенными параметрами референтного расстояния  $S_{\text{реф}}$  между внешними краями первых двух окружностей, диаметра  $D$  окружностей и угла  $\varphi$  поворота всей тестовой конструкции. При предъявлении тест-объекта расстояние  $S_{\text{тест}}$  значительно превышает референтное  $S_{\text{реф}}$ . Испытуемый перемещает третью окружность до тех пор, пока его субъективное восприятие референтного и тестового расстояния не станут одинаковыми (Рис. 4.9).

Для первой серии тестирования зрительного восприятия на величину ошибок расстояния  $\Delta S$  сформированы 12 тест-объектов (Табл. 4.2, Рис. 4.10а,б):

1) 7 тест-объектов с изменяющимися параметрами  $S_{\text{реф}}$  при фиксированном параметре  $D = 10$  мм и  $\varphi = \pi/2$  (для определения статистической зависимости  $\Delta S$  от  $S_{\text{реф}}$ );

2) 5 тест-объектов с изменяющимися параметрами  $D$  при фиксированном параметре  $S_{\text{реф}} = 35$  мм и  $\varphi = \pi/2$  (для определения статистической зависимости  $\Delta S$  от  $D$ ).

Для второй серии тестирования, направленной на определение статистической зависимости ошибки расстояния  $\Delta S$  от угла  $\varphi$  поворота всей тестовой-конструкции, сформировано 16 тест-объектов с изменяющимися параметрами  $\varphi$  (Табл. 4.2, Рис. 4.10в). Значение углов поворота  $\varphi$  варьируются в диапазоне  $[0; 2\pi]$  с шагом  $\pi/8$  при фиксированных параметрах  $S_{\text{реф}} = 35$  мм и  $D = 10$  мм.

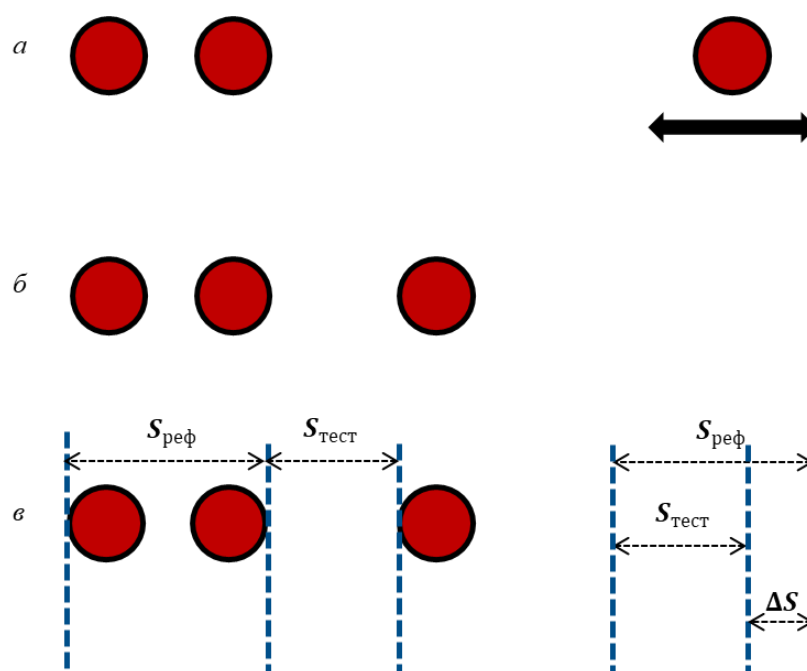


Рис. 4.9. Процесс работы испытуемого с тест-объектом иллюзии Мюллера-Лайера и последующая фиксация данных: а) пример тест-объекта, предъявляемый испытуемому; б) пример тест-объекта после изменения тестового отрезка испытуемым; в) фиксация ошибки смещения  $\Delta S$

Табл. 4.2. Параметры тест-объектов иллюзии Мюллера-Лайера

1 серия тестирования		2 серия тестирования	
$S_{\text{реф}}, \text{мм}$	$D, \text{мм}$	$\varphi, \text{рад}$	
20	5	0 ( $2\pi$ )	$\pi$
25	7	$\pi/8$	$9\pi/8$
30	10	$\pi/4$	$5\pi/4$
35	12	$3\pi/8$	$11\pi/8$
40	15	$\pi/2$	$3\pi/2$
45		$5\pi/8$	$13\pi/8$
50		$3\pi/4$	$7\pi/4$
		$7\pi/8$	$15\pi/8$



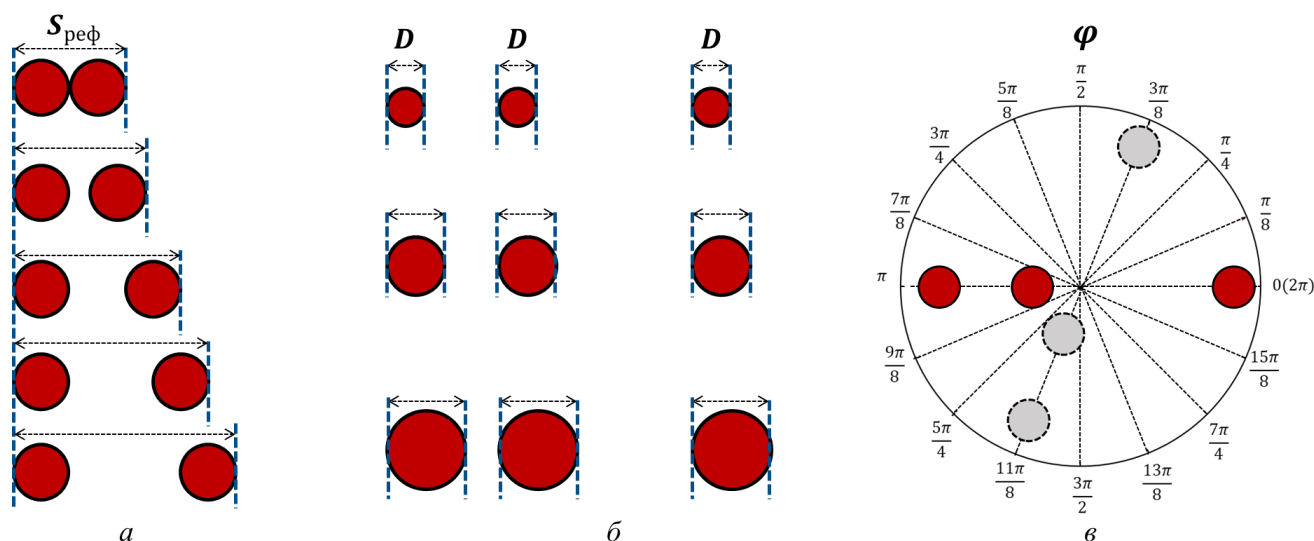


Рис. 4.10. Вариации тест-объектов для исследования зависимости ошибки расстояния  $\Delta S$ :  
а) от референтного расстояния  $S_{\text{реф}}$ ; б) от диаметра  $D$  окружностей;  
в) от угла  $\varphi$  поворота тест-объекта.

**Иллюзия Вунда-Фика.** При проведении экспериментов с иллюзией Вунда-Фика испытуемым на экране монитора предъявляются тест-объекты с определенными параметрами местоположения  $P$  вертикальной линии, угла  $\alpha$  наклона вертикальной линии и угла  $\varphi$  поворота всей тестовой конструкции. При предъявлении тест-объектов на экране монитора, регулируемый отрезок значительно меньше горизонтального. Испытуемый настраивает длину тестового отрезка, относительно референтного до их субъективного равенства (Рис. 4.11).

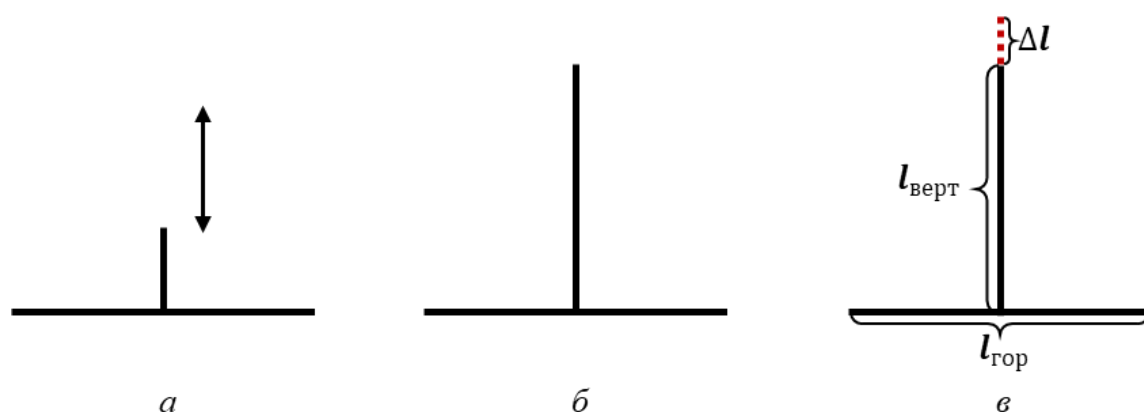


Рис. 4.11. Процесс работы испытуемого с тест-объектом иллюзии Вунда-Фика и последующая фиксация данных: а) пример тест-объекта, предъявляемый испытуемому; б) пример тест-объекта после изменения тестового отрезка испытуемым; в) фиксация ошибки длины  $\Delta l$

Для первой серии тестирования зрительного восприятия на величину ошибок длины  $\Delta l$  сформированы 12 тест-объектов (Табл. 4.3, Рис. 4.12а,б):

1) 5 тест-объектов с изменяющимся параметром местоположения  $P$  вертикальной линии при фиксированных параметрах  $\alpha = \pi/2$ ,  $\varphi = \pi/2$ .

2) 7 тест-объектов с изменяющимся параметром угла вертикальной линии:  $\alpha$  при фиксированных параметрах  $P = 0$ ,  $\varphi = \pi/2$ .

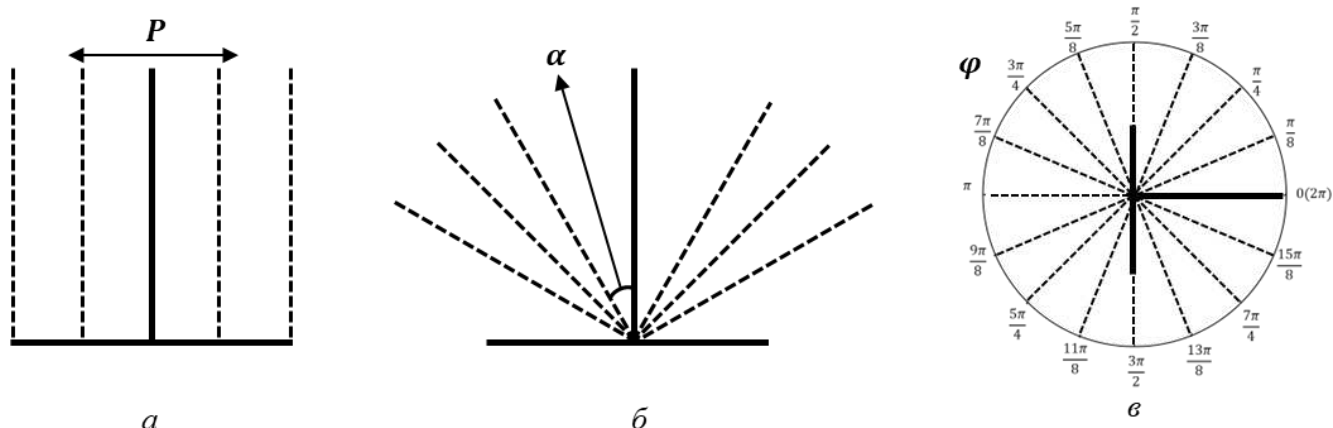


Рис. 4.12. Вариации тест-объектов для исследования зависимости ошибки длины  $\Delta S$ : а) от местоположения  $P$ ; б) от угла  $\alpha$  наклона вертикали; в) от угла  $\varphi$  поворота тест-объекта

Для второй серии тестирования, направленного на определение статистической зависимости ошибки длины  $\Delta l$  от угла  $\varphi$  поворота всей тестовой-конструкции, сформировано 16 тест-объектов с изменяющимися параметрами  $\varphi$ . Значение углов поворота  $\varphi$  варьируется в диапазоне  $[0; 2\pi]$  с шагом  $\pi/8$  при фиксированных параметрах  $\alpha = \pi/2$ ,  $P = 0$ .

Табл. 4.3. Параметры тест-объектов иллюзии Вунда-Фика.

1 серия тестирования		2 серия тестирования	
$P$ , мм	$\alpha$ , рад	$\varphi$ , рад	
-25	$\pi/6$	0 ( $2\pi$ )	$\pi$
-12.5	$\pi/4$	$\pi/8$	$9\pi/8$
0	$\pi/3$	$\pi/4$	$5\pi/4$
12.5	$\pi/2$	$3\pi/8$	$11\pi/8$
25	$2\pi/3$	$\pi/2$	$3\pi/2$
	$3\pi/4$	$5\pi/8$	$13\pi/8$
	$5\pi/6$	$3\pi/4$	$7\pi/4$
		$7\pi/8$	$15\pi/8$

### 4.3. Характеристика испытуемых

В процессе исследования геометрических иллюзий выборка испытуемых составила 272 человека (131 мужчина, 141 женщина):

1) для исследования иллюзии Поггендорфа протестировано 107 испытуемых (59 мужчин, 48 женщин);

2) для исследования иллюзии Мюллера-Лайера протестировано 85 испытуемых (40 мужчин, 45 женщин);

3) для исследования иллюзии Вунда-Фика протестировано 80 испытуемых (32 мужчины, 48 женщин).

В табл. 4.4 представлено распределение испытуемых по типу иллюзии и сериям тестирования. Вторая серия тестирования для всех иллюзий была направлена на выявление зависимости величины иллюзий от ориентационных характеристик тест-объектов. Пол и возрастная динамика не имела целевого значения, так как цель исследования – выявление статистической зависимости иллюзии от геометрических параметров тест-объектов. В связи с этим для получения репрезентативной выборки процентное соотношение мужчин (55.84%) и женщин (48.16%) было относительно небольшим, при этом возраст испытуемых варьировался от 18 до 55 лет для тестирований по иллюзии Поггендорфа и от 18 до 28 лет для иллюзий Мюллера-Лайера и Вунда-Фика.

Табл. 4.4. Характеристика испытуемых.

Иллюзия Поггендорфа		Иллюзия Мюллера-Лайера		Иллюзия Вунда-Фика	
1 серия тестирования	2 серия тестирования	1 серия тестирования	2 серия тестирования	1 серия тестирования	2 серия тестирования
67 чел.	40 чел.	40 чел.	45 чел.	40 чел.	40 чел.
107 испытуемых: 59 мужчин 48 женщин		85 испытуемых: 40 мужчин 45 женщин		80 испытуемых: 32 мужчины 48 женщин	

Эксперименты в форме тестирования проводились за персональным компьютером в естественных условиях, бинокулярно. В процессе тестирования

испытуемый принимал наиболее комфортное положение для работы за персональным компьютером.

#### 4.4. Статистическая обработка и анализ данных

Обработка первичных данных осуществляется системой тестирования автоматически и представляет усреднение экспериментальных значений  $\Delta I_i$  по  $n$  пробам ( $n = 5$ ) выполнения одного и того же задания в одинаковых условиях для каждого испытуемого, т.е. параметры тест-объектов в рамках одного типа теста повторялись на протяжении всего эксперимента. При этом на данной стадии осуществляется поиск заведомо ошибочных значений  $\Delta I$  и их замена, согласно статистическим стандартам, на средние по соседним значениям:

$$\Delta I_i = \frac{\Delta I_{i-1} + \Delta I_{i+1}}{2}.$$

Далее осуществляется поиск средних ошибок  $\overline{\Delta I}$  и стандартных отклонений  $\sigma$  от среднего по всей выборке испытуемых согласно каждому типу теста:

$$\overline{\Delta I} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta I_i, \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta I_i - \overline{\Delta I})^2}.$$

Полученные данные сортируются и формируются в табличном формате для дальнейшей обработки и анализа (табл. 4.5). Таким образом, по результатам проведения статистической обработки данных конечными значениями для анализа являются зависимая переменная  $\overline{\Delta I}$  (исследуемый процесс), изменяющаяся под влиянием независимого параметра  $G$  (фактор, регрессор).

Для описания полученных данных тестирований использовались методы корреляционно-регрессионного анализа данных. Аппроксимация статистических

зависимостей и поиск коэффициентов уравнений регрессий осуществлялись методом наименьших квадратов:

$$\sum_{i=1}^n (\overline{\Delta I}_i - f(G_i, \theta))^2 \rightarrow \min,$$

где  $\overline{\Delta I}_i$  – экспериментальные значения, полученные при тестировании,  $f(G, \theta)$  – аппроксимирующая функция с параметрами  $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ ,  $f(G_i, \theta)$  – модельные (расчетные значения).

Табл. 4.5. Форма записи количественной регистрации ошибок

№ п/п	$G_1$	$G_2$	...	$G_k$
1	$\Delta I_{11}$	$\Delta I_{12}$	...	$\Delta I_{1k}$
...	...	...	...	...
$i$	$\Delta I_{i1}$	$\Delta I_{i2}$	...	$\Delta I_{ik}$
...	...	...	...	...
$n$	$\Delta I_{n1}$	$\Delta I_{n2}$	...	$\Delta I_{nk}$
$\overline{\Delta I}$	$\overline{\Delta I}_1$	$\overline{\Delta I}_2$	...	$\overline{\Delta I}_n$
$\sigma$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	...	$\sigma_n$

**Примечание:** при тестировании 1 испытуемого значение  $n$  – количество попыток пройденного теста с одними и теми же параметрами  $G$ ,  $\overline{\Delta I}$  – усредненные ошибки по количеству попыток. В случае тестирования всей выборки испытуемых,  $n$  – размер выборки,  $\overline{\Delta I}$  – усредненные ошибки по средним значениям попыток каждого испытуемого, т.е. всей выборки испытуемых.

Табл. 4.6. Усредненные эмпирические данные  $\Delta I$ , зависящие от параметра  $G$

№ п/п	$G$	$\overline{\Delta I}$	$\sigma$
1	$G_1$	$\Delta I_1$	$\sigma_1$
2	$G_2$	$\Delta I_2$	$\sigma_2$
...	...	...	...
$i$	$G_i$	$\Delta I_i$	$\sigma_i$
...	...	...	...
$n$	$G_n$	$\Delta I_n$	$\sigma_n$

Для оценки силы и направления линейной связи применяется линейный коэффициент корреляции Пирсона:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})(\bar{\Delta I}_i - \bar{\bar{\Delta I}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (G_i - \bar{G})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\bar{\Delta I}_i - \bar{\bar{\Delta I}})^2}},$$

где

$$\bar{G} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G_i, \bar{\bar{\Delta I}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{\Delta I}_i.$$

Для оценки силы нелинейных связей используется индекс корреляции  $R$ , определяемый как

$$R = \sqrt{1 - \frac{SS_e}{SS}} = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{\Delta I}_i - f(G_i, \theta))^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{\Delta I}_i - \bar{\bar{\Delta I}})^2}}.$$

Также на основе  $F$ -критерия Фишера выполняется проверка статистической гипотезы о значимости уравнения регрессии. Эмпирическое значение критерия определяется формулой:

$$F_{\text{эмп}} = \frac{R^2}{1 - R^2} \frac{(n - m - 1)}{m},$$

где  $R^2$  – коэффициент детерминации,  $n$  – количество наблюдений,  $m$  – количество параметров при переменной  $G$ .

Критическое значение  $F_{\text{крит}}$  задается по известным статистическим таблицам, где  $k_1$  – число независимых переменных в уравнении, а  $k_2 = n - m - 1$  представляет разницу наблюдений и количества оцениваемых параметров в модели.

#### 4.5. Результаты тестирования

**Иллюзия Поггендорфа.** Статистически обработанные числовые данные первой серии тестирования для исследования иллюзии Поггендорфа представлены в Табл. 4.7 и Табл. 4.8. На Рис. 4.13 и Рис. 4.14 проиллюстрированы соответствующие таблицам графики зависимостей ошибок смещения  $\overline{\Delta L}$  от значений ширины полосы  $W$  и угла наклона  $\alpha$ . Зависимость  $\overline{\Delta L}$  от  $W$  описывается линейным уравнением вида:

$$\overline{\Delta L} = 0.39W + 0.046.$$

Рассчитанный коэффициент корреляции  $r = 0.9986$  свидетельствует о практически функциональной связи между  $\overline{\Delta L}$  и  $W$ .

Ошибка смещения  $\overline{\Delta L}$  прямо пропорционально зависит от  $W$ : расширение полосы влечет за собой увеличение ошибок смещений (Рис. 4.13а). Коэффициент детерминации  $R^2 = 0.9973$  указывает на то, что  $\overline{\Delta L}$  на 99.73% зависит от  $W$ .

Проверка статистической гипотезы о значимости полученного уравнения по  $F$ -критерию Фишера свидетельствует об адекватности построенной модели регрессии:  $F_{\text{эмп}} = 1477.48 > F_{\text{крит}} = 21.20$  (при  $\alpha = 0.01$ ,  $k_1 = 1$ ,  $k_2 = 4$ ).

Табл. 4.7. Данные экспериментов для исследования зависимости  $\overline{\Delta L}$  от  $W$ .

№ п.п.	$W$ , мм	$\overline{\Delta L}$ , мм	$\sigma$ , мм
1	10	4.34	1.32
2	20	7.58	1.31
3	30	12.02	2.16
4	40	15.69	2.61
5	50	19.29	2.87
6	60	24.19	4.17

Табл. 4.8. Данные экспериментов для исследования зависимости  $\overline{\Delta L}$  от  $\alpha$ .

№ п.п.	$\alpha$ , рад	$\overline{\Delta L}$ , мм	$\sigma$ , мм
1	$\pi/8$	30.54	3.28
2	$\pi/6$	20.99	3.36
3	$\pi/4$	10.42	3.07
4	$\pi/3$	3.31	1.41
5	$\pi/2$	0.52	0.47
6	$2\pi/3$	3.44	1.67
7	$3\pi/4$	11.50	3.41
8	$5\pi/6$	21.90	3.57
9	$7\pi/8$	29.94	3.69

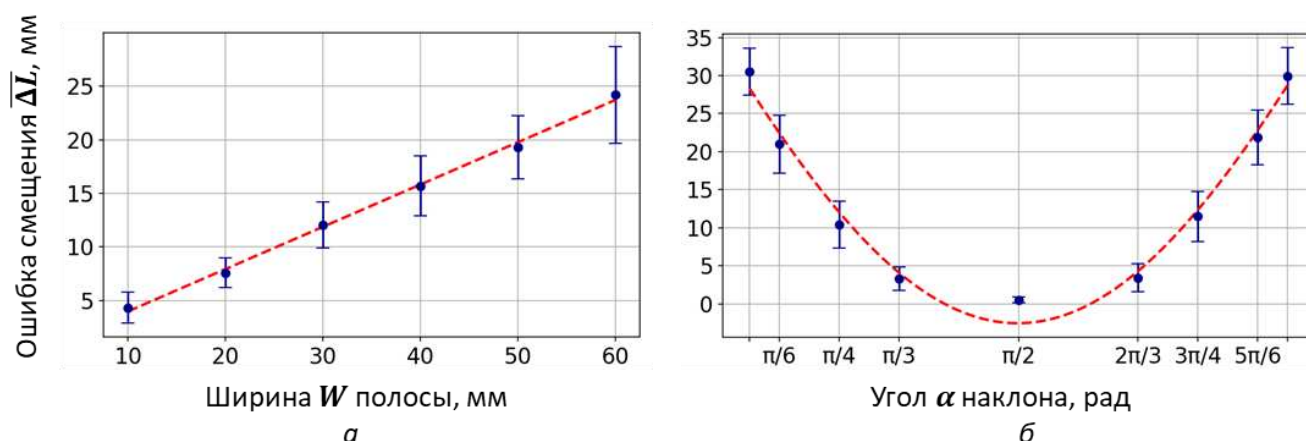


Рис. 4.13. Зависимость ошибки смещения  $\overline{\Delta L}$  от:  
а) ширины  $W$  полосы; б) угла  $\alpha$  наклона входного отрезка

Зависимость  $\overline{\Delta L}$  от  $\alpha$  демонстрирует нелинейный характер поведения иллюзии и описывается следующим тригонометрическим уравнением:

$$\overline{\Delta L} = 50.30 \sin(\alpha + 9.42) + 47.77.$$

Построенная модель зависимости на 97.79% объясняется изменением угла  $\alpha$  ( $R^2 = 0.9779$ ,  $R = 0.9889$ ), т. е.  $\overline{\Delta L}$  возрастает при увеличении остроты угла наклона прямой: чем острее угол  $\alpha$  относительно полосы, тем «ярче» выражена ошибка смещения  $\overline{\Delta L}$ . Уравнение, описывающее зависимость  $\overline{\Delta L}$  статистически значимо:  $F_{\text{эмп}} = 309.74 > F_{\text{крит}} = 12.25$  (при  $\alpha = 0.01$ ,  $k_1 = 1$ ,  $k_2 = 7$ ).



Далее представлены результаты второй серии тестирования, направленной на исследование зависимости ошибок от углов поворота тест-объектов иллюзии Поггендорфа.

На Рис. 4.14 отображена зависимость  $\overline{\Delta L}$  от  $\varphi$  при различных углах  $\alpha$  наклона линии. Приведённые результаты показывают, что  $\overline{\Delta L}$  существенно зависит  $\varphi$ . Данная зависимость демонстрирует  $\pi/2$ -периодику, где ярко выражены экстремумы величины ошибки (4 max и 4 min).

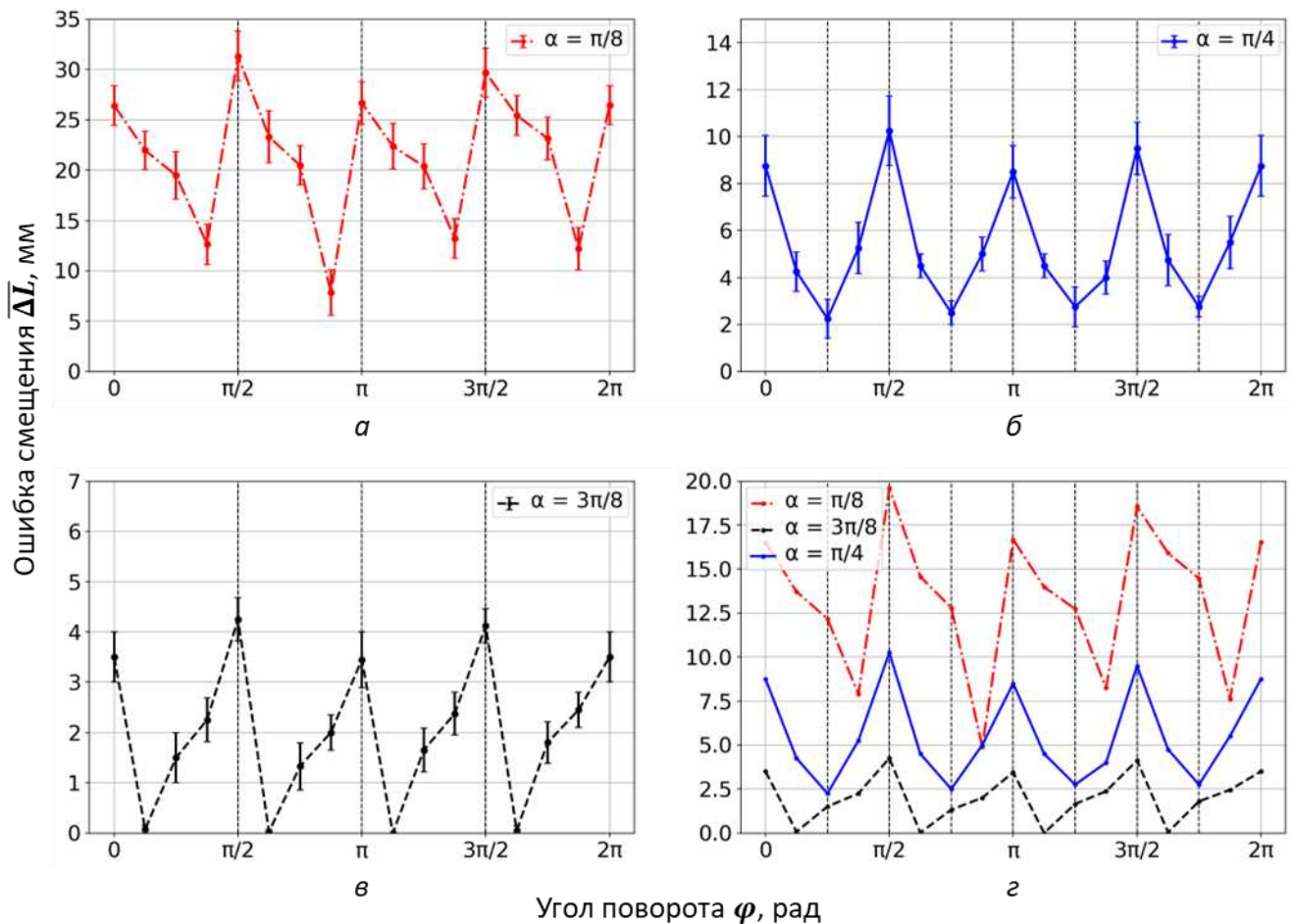


Рис. 4.14. Зависимости ошибки смещения  $\overline{\Delta L}$  от угла  $\varphi$  поворота тест-объекта при различных  $\alpha$ : а)  $\alpha = \pi/8$ ; б)  $\alpha = \pi/4$ ; в)  $\alpha = 3\pi/8$ ; г)  $\alpha = [\pi/8; \pi/4; 3\pi/8]$

Периодика  $\overline{\Delta L}$  наблюдается в диапазоне  $[0; \pi/2]$ , т.е. в соответствии с угловыми четвертями координатной плоскости. Точки максимумов фиксируются на границах этих периодов, когда поворот тест-объекта достигает значения  $\varphi$ , при котором полоса принимает горизонтальное и вертикальное положение. При этом в

вертикальном положении полосы  $\overline{\Delta L}$  выше, чем в горизонтальном. Внутри каждого периода фиксируется также точка минимума, характеризующая ситуацию, когда горизонтальное и вертикальное положение принимает прямая. Поэтому, в отличие от максимумов, минимумы иллюзии меняют своё положение в зависимости от заданного значения угла  $\alpha$  между прямой и полосой.

При этом зависимость  $\overline{\Delta L}$  от  $\varphi$  при среднем значении параметре  $\alpha = \pi/4$  описывается следующим тригонометрическим уравнением (Рис. 4.15, Табл. 4.9):

$$\overline{\Delta L} = 3.37 \sin(3.96\varphi + 1.75) + 5.34.$$

Индексы  $R = 0.9594$  и  $R^2 = 0.9205$  свидетельствуют об адекватности построенной регрессионной модели. Статистическая значимость уравнения также подтверждается  $F$ -критерием:

$$F_{\text{эмп}} = 173.68 > F_{\text{крит}} = 8.68 \text{ (при } \alpha = 0.01, k_1 = 1, k_2 = 15 \text{)}.$$

Табл. 4.9. Данные экспериментов для исследования зависимости  $\overline{\Delta L}$  от  $\varphi$ .

№ п.п.	$\varphi$ , рад	$\overline{\Delta L}$ , мм	$\sigma$ , мм
1	0 (2 $\pi$ )	8.75	1.39
2	$\pi/8$	4.25	0.93
3	$\pi/4$	2.25	0.95
4	$3\pi/8$	5.25	1.15
5	$\pi/2$	10.25	1.68
6	$5\pi/8$	4.50	0.85
7	$3\pi/4$	2.50	0.71
8	$7\pi/8$	5.00	0.89
9	$\pi$	8.50	1.21
10	$9\pi/8$	4.50	0.54
11	$5\pi/4$	2.75	0.95
12	$11\pi/8$	4.00	0.86
13	$3\pi/2$	9.50	1.29
14	$13\pi/8$	4.75	1.16
15	$7\pi/4$	2.75	0.56
16	$15\pi/8$	5.50	1.22

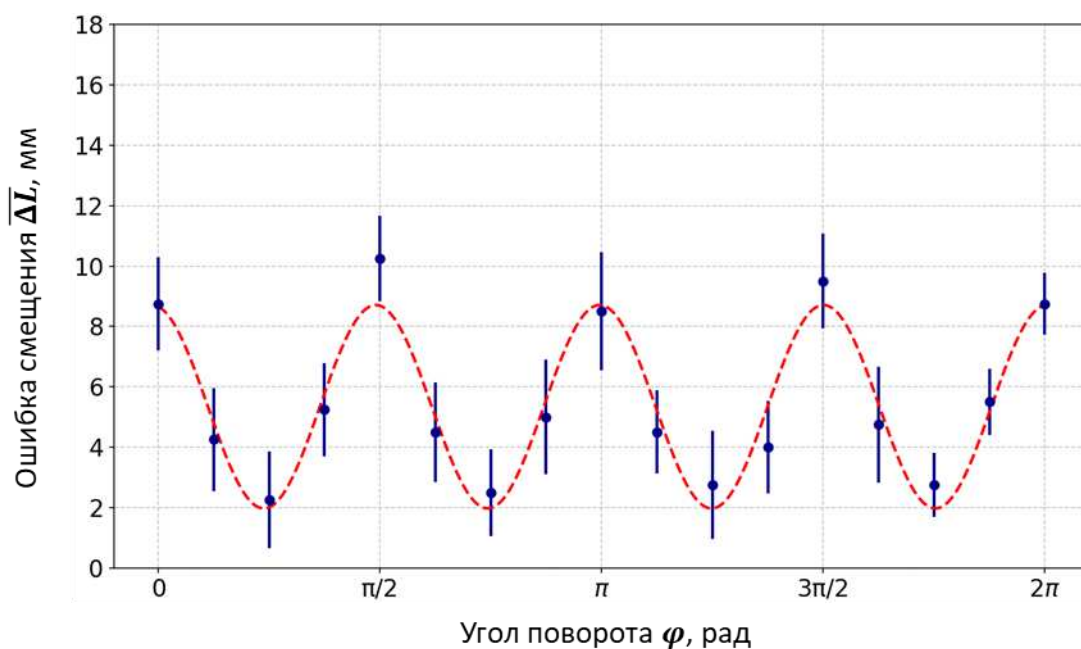


Рис. 4.15. Тригонометрическая регрессионная модель зависимости ошибки смещения  $\overline{\Delta L}$  от угла поворота  $\varphi$  тест-объекта

**Иллюзия Мюллера-Лайера.** В Табл. 4.10 - Табл. 4.12 представлены результаты тестирования иллюзии расстояния между краями окружностей. При увеличении расстояния  $S_{\text{реф}}$  между внешними краями первых двух окружностей ошибка  $\overline{\Delta S}$  возрастает до определенного значения, после чего значения  $\overline{\Delta S}$  статистически не отличаются друг от друга, данная зависимость хорошо аппроксимируется сигмоидой (Рис. 4.16a):

$$\overline{\Delta S} = \frac{12.27}{1 + e^{-0.18(S_{\text{реф}} - 26.36)}}.$$

Табл. 4.10. Данные экспериментов для исследования зависимости  $\overline{\Delta S}$  от  $S_{\text{реф}}$ .

№ п.п.	$S_{\text{реф}}, \text{мм}$	$\overline{\Delta S}, \text{мм}$	$\sigma, \text{мм}$
1	10	3.78	0.73
2	25	4.7	0.85
3	30	7.5	1.19
4	35	11.2	1.23
5	40	11.58	1.65
6	45	10.9	1.11
7	50	12.32	1.43

Табл. 4.11. Данные экспериментов для исследования зависимости  $\overline{\Delta S}$  от  $D$

№ п.п.	$D$ , мм	$\overline{\Delta S}$ , мм	$\sigma$ , мм
1	5	1.55	0.63
2	7	3.08	0.95
3	10	6.86	1.34
4	12	11.69	1.17
5	15	13.69	1.34

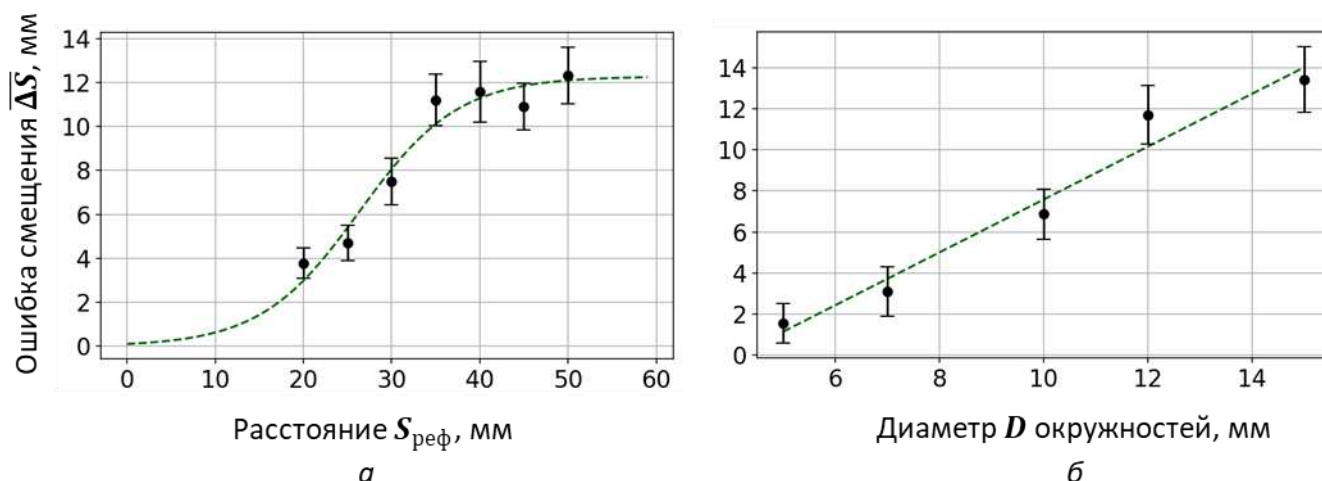


Рис. 4.16. Зависимость ошибки расстояния  $\overline{\Delta S}$  от:  
а) расстояния  $S_{\text{реф}}$ ; б) диаметра  $D$  окружностей

Полученная модель также является статистически значимой на уровне значимости 0.01 критерия Фишера:  $F_{\text{эмп}} = 96.16 > F_{\text{крит}} = 16.26$ . Данная зависимость на 95.06% обусловлена влиянием расстояния  $S_{\text{реф}}$  ( $R^2 = 0.9506$ ).

Зависимость  $\overline{\Delta S}$  от параметра  $D$  имеет прямую пропорциональную зависимость линейного вида (Рис. 4.16б):

$$\overline{\Delta S} = 1.29D - 5.28.$$

Линейная связь достаточно убедительная и на 96.47% объясняется изменением диаметра окружностей ( $R^2 = 0.9647$ ), при этом  $F_{\text{эмп}} = 81.90 > F_{\text{крит}} = 34.12$  (при  $\alpha = 0.01, k_1 = 1, k_2 = 3$ ), что показывает значимость модели.

Результаты второй серии тестирования также свидетельствуют о тригонометрической зависимости ошибки расстояния  $\overline{\Delta S}$  от угла  $\varphi$  поворота тест-объекта

иллюзии Мюллера-Лайера (Табл. 4.12, Рис. 4.17). Данная зависимость описывается синусоидой:

$$\overline{\Delta S} = 1.703\sin(4.030\varphi + 1.571) + 8.893.$$

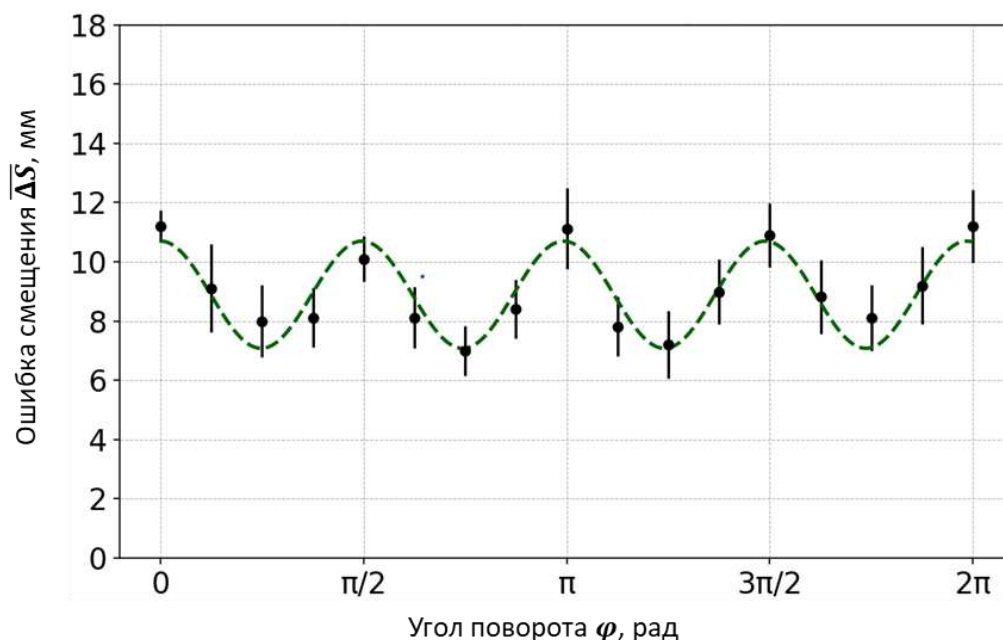


Рис. 4.17. Тригонометрическая регрессионная модель зависимости ошибки смещения  $\overline{\Delta S}$  от угла поворота  $\varphi$  тест-объекта.

Построенная модель зависимости на 82.96% объясняется изменением угла  $\varphi$  ( $R^2 = 0.8296$ ). Статистическая значимость уравнения подтверждается  $F$ -критерием:

$$F_{\text{эмп}} = 73.05 > F_{\text{крит}} = 8.68 \text{ (при } \alpha = 0.01, k_1 = 1, k_2 = 15 \text{)}.$$

Табл. 4.12. Данные экспериментов для исследования зависимости  $\overline{\Delta S}$  от  $\varphi$ .

№ п.п.	$\varphi$ , рад	$\overline{\Delta S}$ , мм	$\sigma$ , мм
1	0 ( $2\pi$ )	8.75	1.39
2	$\pi/8$	4.25	0.93
3	$\pi/4$	2.25	0.95
4	$3\pi/8$	5.25	1.15
5	$\pi/2$	10.25	1.68
6	$5\pi/8$	4.50	0.85
7	$3\pi/4$	2.50	0.71
8	$7\pi/8$	5.00	0.89
9	$\pi$	8.50	1.21
10	$9\pi/8$	4.50	0.54
11	$5\pi/4$	2.75	0.95

№ п.п.	$\varphi$ , рад	$\overline{\Delta S}$ , мм	$\sigma$ , мм
12	$11\pi/8$	4.00	0.86
13	$3\pi/2$	9.50	1.29
14	$13\pi/8$	4.75	1.16
15	$7\pi/4$	2.75	0.56
16	$15\pi/8$	5.50	1.22

**Иллюзия Вунда-Фика.** Результаты тестирования вертикально-горизонтальной иллюзии также подтверждают влияние геометрических параметров на величину ошибок  $\overline{\Delta l}$  (Табл. 4.13 -Табл. 4.15).

На Рис. 4.18а представлен график зависимости ошибки  $\overline{\Delta l}$  от местоположения  $P$  вертикальной линии относительно горизонтальной. Настоящий результат свидетельствует о нелинейной зависимости иллюзии и описывается квадратичным уравнением следующего вида:

$$\overline{\Delta l} = -0.0095P^2 - 0.02P + 14.1971.$$

Ошибка  $\overline{\Delta l}$  уменьшается при перемещении к краям вертикального отрезка, т.е. при приближении вертикального отрезка к центру горизонтального иллюзия увеличивается, нелинейная связь между ошибкой  $\overline{\Delta l}$  местоположения  $P$  вертикальной линии подтверждается высоким коэффициентом детерминации  $R^2 = 0.908$ . При этом  $F_{\text{эмп}} = 29.46 > F_{\text{крит}} = 10.13$  (при  $\alpha = 0.01, k_1 = 1, k_2 = 3$ ), что подтверждает значимость модели.

Табл. 4.13. Данные экспериментов для исследования зависимости  $\overline{\Delta l}$  от  $\alpha$ .

№ п.п.	$\alpha$ , рад	$\overline{\Delta l}$ , мм	$\sigma$ , мм
1	$\pi/6$	17.8	1.96
2	$\pi/4$	16.8	2.15
3	$\pi/3$	16.1	2.21
4	$\pi/2$	15.2	1.81
5	$3\pi/4$	17.1	1.23
6	$2\pi/3$	17.5	1.30
7	$5\pi/6$	18.2	1.39

Табл. 4.14. Числовые результаты экспериментов для исследования зависимости  $\overline{\Delta l}$  от  $P$ .

№ п.п.	$P$ , мм	$\overline{\Delta l}$ , мм	$\sigma$ , мм
1	– 25.0	9.31	2.29
2	– 12.5	11.61	2.12
3	0	15.20	2.34
4	12.5	12.52	1.36
5	25.0	7.59	1.31

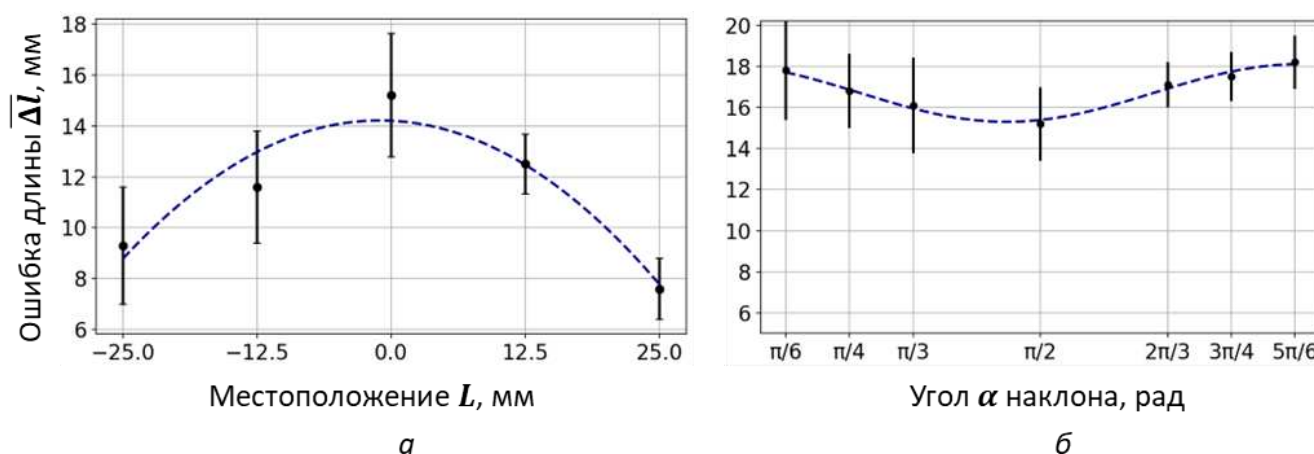


Рис. 4.18. Зависимость ошибки длины  $\overline{\Delta l}$  от:  
а) местоположения  $L$  ; б) угла  $\alpha$  наклона вертикали

На Рис. 4.18б приведен график зависимости ошибки  $\overline{\Delta l}$  от угла наклона  $\alpha$  вертикальной линии относительно горизонтальной. Полученный результат свидетельствует о нелинейной зависимости иллюзии и описывается тригонометрическим уравнением:

$$\overline{\Delta l} = 1.41 \sin(-2.60\alpha + 8.44) + 16.71.$$

Ошибка  $\overline{\Delta l}$  увеличивается при отклонении  $\alpha$  от вертикального положения, т.е. при отклонении угла наклона от  $\pi/2$  иллюзия увеличивается, нелинейная связь между ошибкой  $\overline{\Delta l}$  и углом наклона  $\alpha$  вертикальной линии подтверждается высоким коэффициентом детерминации  $R^2 = 0.9729$ . Проверка статистической гипотезы о значимости найденного уравнения по  $F$ -критерию Фишера также

свидетельствует об адекватности построенной модели:  $F_{\text{эмп}} = 179.76 > F_{\text{крит}} = 16.26$  (при  $\alpha = 0.01, k_1 = 1, k_2 = 5$ ).

Результаты второй серии тестирования также подтверждают выдвинутые гипотезы о тригонометрической зависимости геометрической иллюзии от угла поворота тест-объекта (Табл. 4.15, Рис. 4.19).

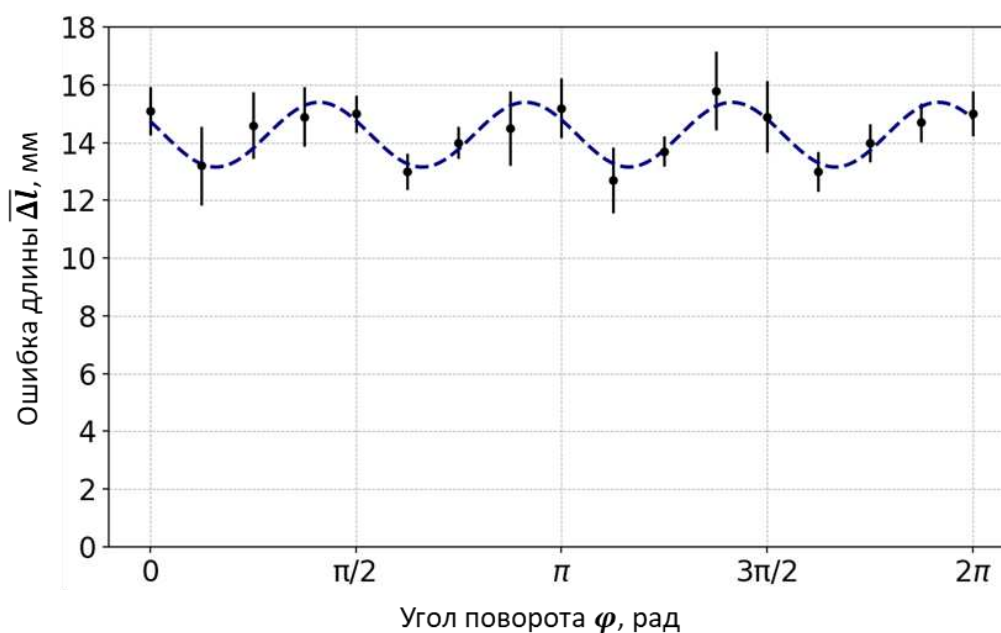


Рис. 4.19. Тригонометрическая регрессионная модель зависимости ошибки длины  $\overline{\Delta l}$  от угла поворота  $\varphi$  тест-объекта

Табл. 4.15. Данные экспериментов для исследования зависимости  $\overline{\Delta l}$  от  $\varphi$ .

№ п.п.	$\varphi$ , рад	$\overline{\Delta l}$ , мм	$\sigma$ , мм
1	0 ( $2\pi$ )	15.10	1.06
2	$\pi/8$	13.20	1.35
3	$\pi/4$	14.60	1.20
4	$3\pi/8$	14.90	1.21
5	$\pi/2$	15.00	0.73
6	$5\pi/8$	13.00	0.78
7	$3\pi/4$	14.00	1.32
8	$7\pi/8$	14.50	1.39
9	$\pi$	15.20	1.24
10	$9\pi/8$	12.70	1.08
11	$5\pi/4$	13.70	0.63
12	$11\pi/8$	15.80	1.29
13	$3\pi/2$	14.90	1.19
14	$13\pi/8$	12.99	0.76
15	$7\pi/4$	13.99	0.60
16	$15\pi/8$	14.70	0.71



Зависимость ошибки длины  $\overline{\Delta l}$  от  $\varphi$  описывается следующим тригонометрическим уравнением:

$$\overline{\Delta l} = 1.121 \sin(3.984\varphi - 3.570) + 14.275.$$

Коэффициент детерминации  $R^2 = 0.7761$  свидетельствуют об адекватности построенной регрессионной модели. Статистическая значимость уравнения также подтверждается  $F$ -критерием:

$$F_{\text{эмп}} = 52.00 > F_{\text{крит}} = 8.68 \text{ (при } \alpha = 0.01, k_1 = 1, k_2 = 15 \text{)}.$$

**Общие закономерности.** Проведённое исследование подтвердило влияние ориентационного фактора в формировании систематических ошибок зрительного восприятия при предъявлении геометрических иллюзий. Для всех трёх типов иллюзий выявлена статистически значимая зависимость величины ошибки  $\overline{\Delta l}$  от угла поворота  $\varphi$  тест-объекта в плоскости экрана (Рис. 4.20).

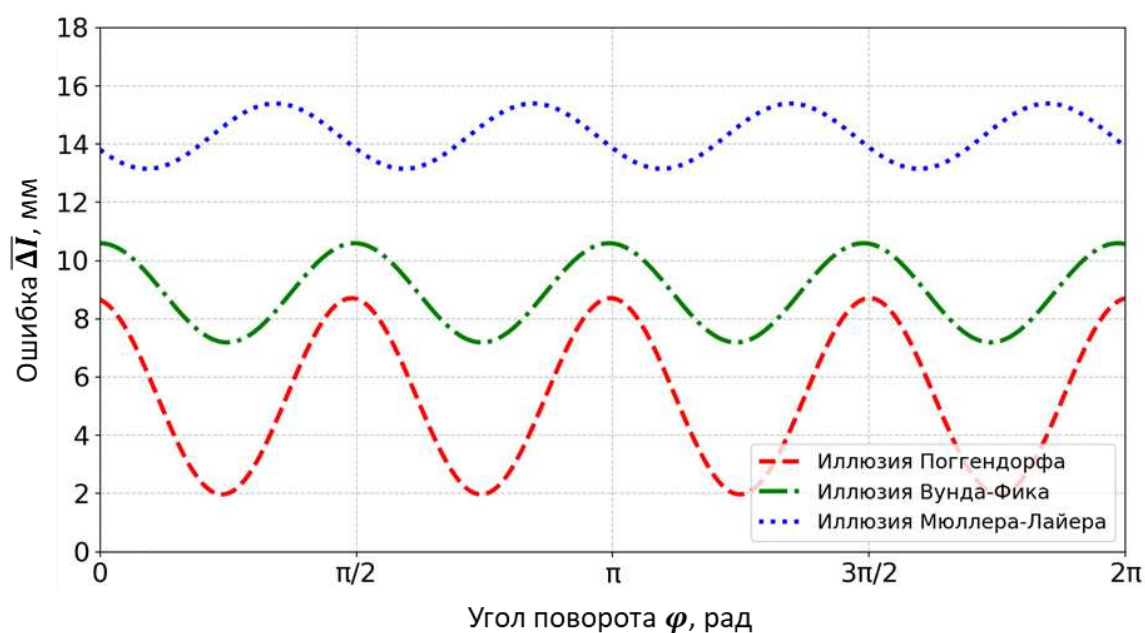


Рис. 4.20. Общий график зависимостей величин ошибок  $\overline{\Delta l}$  в трёх типах иллюзий от угла  $\varphi$  поворота тест-объектов.

В каждом случае зависимость ошибки от угла  $\varphi$  оказалась тригонометрической по своей природе, что проявилось в виде периодических колебаний с характерной  $\pi/2$ -периодичностью. Такие колебания сопровождаются чередованием максимумов и минимумов ошибок, что указывает на фазовую чувствительность зрительной системы к положению тест-объекта в пространстве. Экстремумы выражены при горизонтальном и вертикальном положении ключевых элементов иллюзии, что обусловлено особенностями ориентировочной организации поля зрения.

На основании полученных данных были подтверждены две исходные гипотезы исследования:

1) **H<sub>1</sub>**: Геометрические иллюзии возникают при любом ориентационном положении тест-объекта. Это указывает на устойчивость феномена зрительных искажений независимо от поворота стимула.

2) **H<sub>1</sub>**: Геометрические иллюзии зависят от угла поворота, причём характер зависимости имеет тригонометрическую форму. Это свидетельствует о систематическом влиянии ориентации объекта на процессы визуального анализа пространственных отношений.

Таким образом, ориентационные характеристики зрительных стимулов представляют собой универсальный модифицирующий фактор, влияющий на величину систематических зрительных искажений, и должны учитываться при моделировании, диагностике и прогнозировании зрительного восприятия.

#### 4.6. Выводы к четвертой главе

Исследование геометрических иллюзий, проведенное с использованием разработанной методологии и системы, позволило сделать следующие выводы:

1. Для всех трёх типов геометрических иллюзий – Поггендорфа, Мюллера-Лайера и Вунда-Фика – выявлены статистически значимые зависимости между величиной иллюзии и конфигурацией предъявляемых стимулов;

2. Иллюзия Поггендорфа имеет прямую пропорциональную зависимость от ширины полосы: при увеличении ширины полосы, величина иллюзии линейно

возрастает. Это означает, что препятствие (непрозрачная полоса) оказывает пропорциональное влияние на искажение коллинеарности восприятия;

3. Зависимость иллюзии Поггендорфа от угла наклона входного отрезка прямой демонстрирует нелинейный тригонометрический характер: при увеличении остроты угла наклона относительно полосы, иллюзия возрастает;

4. Зависимость иллюзии Мюллера-Лайера от расстояния между краями окружностей демонстрирует нелинейный характер. При увеличении расстояния между внешними краями первых двух окружностей величина иллюзии возрастает до определенного значения, после чего величина иллюзии стабилизируется. Данная зависимость хорошо аппроксимируется сигмоидой;

5. Иллюзия Мюллера-Лайера линейно зависит от диаметра окружностей: при увеличении диаметра, величина иллюзии возрастает, что указывает на влияние масштаба зрительных объектов на ошибки определения расстояний;

6. Вертикально-горизонтальная иллюзия Вунда-Фика нелинейно зависит от положения вертикальной линии относительно горизонтальной: ошибка максимальна при центральном положении вертикальной линии и убывает по мере её удаления от центра, что отражает влияние симметрии и центральности в зрительном поле. Данная нелинейная связь хорошо аппроксимируется квадратичным уравнением.

7. Зависимость иллюзии Вунда-Фика от угла наклона вертикальной линии относительно горизонтальной демонстрирует нелинейный характер зависимости: при отклонении от строго вертикального положения ошибка увеличивается по синусоидальной закономерности.

8. Исследование подтвердило обе выдвинутые гипотезы: геометрические иллюзии возникают при любом ориентационном положении тест-объекта, их наличие устойчиво независимо от направления поворота; геометрические иллюзии зависят от угла поворота тест-объекта, и эта зависимость имеет тригонометрический характер с повторяющейся периодикой и фазовыми сдвигами в зависимости от конфигурации элементов.

9. Во всех случаях наблюдаются характерные максимум/минимум эффекты, повторяющиеся через  $\pi/2$ , что указывает на закономерную природу ошибок, связанную с ориентационной обработкой зрительной информации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Процесс тестирования систематических ошибок зрительного восприятия представлен как информационный процесс, основанный на формализованных методах функционального моделирования систем и процессов.

2. Предложена универсальная методология проведения тестирования. В рамках данной методологии разработаны и описаны алгоритмы взаимодействия участников процесса с системой.

3. Спроектирована автоматизированная система тестирования для исследования различных иллюзий в рамках единой методики. Система позволяет проводить эксперименты как индивидуально с каждым испытуемым, так и с большой группой одновременно. Система также автоматизирует сбор и обработку данных, формируя полученные данные в удобный для исследователей вид.

4. Работа системы подтверждена проведением исследования иллюзий Поггендорфа, Мюллера-Лайера и вертикально-горизонтальной иллюзии. Разработаны модули тестирования данных иллюзий, исследованы и описаны характеры зависимостей иллюзий от геометрических признаков, которые не противоречат существующим исследованиям, получены и обоснованы новые регрессионные модели зависимостей.

5. Проведены исследования новой модификации геометрических иллюзий Поггендорфа, Мюллера-Лайера и Вунда-Фика – вращение всей тестовой конструкции. Получены статистические зависимости величины данных иллюзий от угла поворота тест-объектов.

6. На основе полученных результатов выдвинуты и подтверждены гипотезы о тригонометрическом характере зависимостей геометрических иллюзий от ориентации тест-объекта: геометрические иллюзии возникают при любом ориентационном положении тест-объекта – их наличие устойчиво независимо от направления поворота; геометрические иллюзии зависят от угла поворота тест-объекта, и эта зависимость имеет тригонометрический характер, с повторяющейся периодикой и фазовыми сдвигами в зависимости от конфигурации элементов. Во всех случаях

наблюдаются характерные максимум/минимум эффекты, повторяющиеся через  $\pi/2$ , что указывает на закономерную природу ошибок, связанную с ориентационной обработкой зрительной информации

7. Система является гибкой и расширяемой, предполагается возможность подключения дополнительных модулей для исследования различного класса иллюзий. Модель данной системы также подразумевает различные формы работы с ней, в том числе дистанционные. Дистанционная форма работы системы допускает как централизованную установку сервера, так и использование распределенных серверов системы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Айдоган Г. Сюло Р., Сюмер Х. и др.* Система определения зрительного восприятия // Патент РФ на изобретение № 2663639 С2, 07.08.2018.
2. *Альберти Л. Б.* Три книги о живописи // Эстетика Ренессанса. – М.: Искусство, 1981. – 380 с.
3. *Ананьев Б.Г.* Сенсорно-перцептивная организация человека // Познавательные процессы: ощущение, восприятие. – М.: Наука, 1977. – С. 49-148.
4. *Аристотель.* О душе // Сочинения в 4 томах. – М.: Мысль, 1976. – Т. 1. – С. 371- 448.
5. *Артамонов И.Д.* Иллюзии зрения. – 3 изд. – М., 1969. – 76 с.
6. *Бадеева Е.А., Кириллов Г.М., Бадеев В.А.* Философская оптика: наследие Рене Декарта и Исаака Ньютона // Современные философские исследования. – 2025. – №. 1. – С. 22-32.
7. *Барабанов Р.Е.* Психологические механизмы зрительного восприятия формы и пространства // Психология. Историко-критические обзоры и современные исследования. – 2023. – Т. 12. – № 8А. – С. 64-75.
8. *Барабанчиков В.А.* Оптико-геометрические иллюзии, генерируемые компьютером: феномены, механизмы, детерминанты / В кн. Современная психофизика. – М.: ИП РАН, 2009. – С. 161-188
9. *Барышева В.Е.* Пространственные иллюзии объектов 1375йна // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – №. 5 (166). – С. 14-18.
10. *Бондарко В.М.* Иллюзия наклона и ориентационная чувствительность // Физиология человека. – 2020. – Т. 46. – №. 3. – С. 90-98.

11. *Бондарко В.М.* Информационные технологии зрительного эксперимента // Экспериментальная психология в России: традиции и перспективы. – 2010. – С. 189-194.
12. *Бондарко В.М., Бондарко Д.В., Солнушкин С.Д., Чихман В.Н.* Моделирование оптических иллюзий // Оптический журнал. – 2018. – Т. 85. – № 8. – С. 5-12.
13. *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. – Т. 45. – № 4. – С. 30-39.
14. *Бондарко В.М., Бондарко Д.В., Чихман В.Н.* Зависимость иллюзии Оппель-Кундта от конфигурации составляющих линий // Экспериментальная психология. – 2016. – Т. 9. – № 3. – С. 27-40.
15. *Бондарко В.М., Данилова М.В.* Оценка размера круга в иллюзии Эббингхауза // Сенсорные системы. 2000. – Т. 14. – № 4. – С. 269-279.
16. *Бондарко В.М., Данилова М.В.* Оценка размера круга в иллюзии Эббингхауза // Сенсорные системы. – 2000. – Т. 14. – №4. – С. 269-279.
17. *Бондарко В.М., Данилова М.В., Красильников Н.Н. и др.* Пространственное зрение. – СПб.: Наука, 1999. – 218 с.
18. *Бондарко В.М., Семенов Л.А.* Вертикально-горизонтальная иллюзия в условиях различного расположения линий // Сенсорные системы. – 2014. – Т. 28. – № 1. – С. 15-24.
19. *Бондарко В.М., Семенов Л.А.* Иллюзия жезла и рамки в зависимости от расстояния между ними // Сенсорные системы. – 2012. – Т. 26. – №. 2. – С. 124-132.
20. *Бондарко В.М., Семенов Л.А.* Оценка размера в иллюзии Эббингхауза у взрослых и детей различного возраста // Физиология человека. – 2004. – Т. 30. – № 1. – С. 31-37.
21. *Бондарко В.М., Солнушкин С.Д., Чихман В.Н.* Зрительные иллюзии и восприятие классической архитектуры // Экспериментальная психология. – 2023. – Т. 16. – №. 3. – С. 69-85.



22. *Бондарко В.М., Чихман В.Н.* Искажение формы изображений в оптических иллюзиях // *Оптический журнал.* – 2023. – Т. 90. – № 10. – С. 67-79.
23. *Булатов А., Бертулис А., Булатова Н.* Процессы локального усреднения в иллюзии Мюллера-Лайера // *Сенсорные системы.* 2007. –Т. 21. –№1. – С. 10-18.
24. *Булатов А.Н., Бертулис А.В., Белявичус А., Булатова Н.* Иллюзии длины и их описание на основе центроидной концепции // *Сенсорные системы.* – 2009. – Т. 23. – № 1. – С. 3-12.
25. *Булатов А.Н., Бертулис А.В., Кочанене Й.* Иллюзия Оппель-Кундта и анизотропия зрительного поля // *Сенсорные системы.* – 1997. – Т. 11. – № 3. – С. 312-321.
26. *Булатов А.Н., Бертулис А.В., Мицкене Л.И.* Количественные исследования геометрических иллюзий // *Сенсорные системы.* – 1999. – Т. 9. – № 2-3. – С. 79-93.
27. *Булатов А.Н., Бертулис А.В., Строганов В.* Искажения восприятия длины при совмещении двух изображений // *Физиология человека.* – 2001. – Т. 27. – №3. – С. 22-31.
28. *Гибсон Дж.* Экологический подход к зрительному восприятию.– М.: Прогресс, 1988. – 464 с
29. *Глезер В.Д.* Зрение и мышление. – СПб.: Наука, 1993. – 284 с.
30. *Глезер В.Д., Невская А.А., Чернова Н.Д., Гаузельман В.Е., Кравцов А.Б.* Асимметрия полушарий, зрительное обучение и ин-вариантное опознание образов // *Физиология человека.* – 2005. –Т. 31. – №5. – С. 37-43.
31. *Глезер В.Д.* О роли пространственно-частотного анализа, примитивов и межполушарной асимметрии в опознании зрительных образов // *Физиология человека.* – 2000. – Т. 26. – №. 5. – С. 145-150.
32. *Глезер В.Д.* Согласованная фильтрация в зрительной системе // *Оптический журнал.* – 1999. – Т. 66. – № 10. – С. 10-14.

33. *Гоббс Т.* Сочинения в 2-х томах. – Москва: Мысль, 1989. – Т. 1. – 622 с.
34. *Горшков В. В. Костоев А.Т.* Система для тестирования зрительного восприятия в условиях возникновения иллюзий // Патент на изобретение RU 2786961 C1, 26.12.2022.
35. *Горшков В. В. Костоев А.Т.* Устройство для определения величины зрительных иллюзий // Патент на полезную модель RU 208910 U1, 21.01.2022.
36. *Горшков В.В., Ниязова Б.Н., Костоев А.Т., Угурлуев Э.А.* Способ и система для принятия решения о готовности компьютеров локальной вычислительной сети к работе // Патент на изобретение RU 2799736 C2, 11.07.2023.
37. *Грегори Р.Л.* Глаз и мозг. Психология зрительного восприятия. – М.: Прогресс, 1970. – 272 с.
38. *Иллюзии* // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1969 – 1978.
39. *Кожуховская Е.С., Чмиль И.Б., Федорова Е.С.* Роль темпераментальных характеристик школьников на искажение зрительного восприятия фигуры Поггендорфа в модификации Джастроу // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – №. 6-1. – С. 55-57.
40. *Коршунова С. Г.* Зрительные вызванные потенциалы на иллюзорные контуры (квадрат Канизса) // Журн. высш. нервн. деятельности. – 1998. – Т. 48. – №. 5. – С. 807-814.
41. *Костоев А.Т., Ракчеева Т.А.* Исследование ориентационных характеристик зрительной иллюзии пересечения // XXXI Междунар. иннов. конф. молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения. Москва, 2020. С. 380-384.
42. *Костоев А.Т., Данько Д.И., Фирсов Д.А.* Исследование характеристик зрительной иллюзии расстояния между краями объектов // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2022). – 2022. – С. 116-121.

43. *Костоев А.Т., Николаева Е.А.* Программа для тестирования вертикально-горизонтальной иллюзии // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022683023, 30.11.2022.
44. *Костоев А.Т., Николаева Е.А.* Программа для тестирования зрительной иллюзии пересечения (иллюзии Поггендорфа) // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022683021, 30.11.2022.
45. *Костоев А.Т., Николаева Е.А.* Программа для тестирования зрительной иллюзии Мюллера-Лайера// Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022683022, 30.11.2022.
46. *Костоев А.Т., Огородов Д.В., Данько Д.И.* Исследование геометрических факторов зрительной иллюзии, возникающей при оценке расстояний между краями объектов // Инженерный вестник Дона. – 2022. – №. 6 (90). – С. 46-55.
47. *Красильников Н.Н.* Обобщенная функциональная модель зрения и ее применение в системах обработки и передачи изображений // Автометрия. 1990. – №6. – С. 7-14.
48. *Красильников Н.Н.* Теория передачи и восприятия изображений.– М.: Радио и связь, 1986. – 247 с.
49. *Леонардо да Винчи.* Суждения о науке и искусстве / Под ред. В. Назарова. – СПб: Азбука, 1998. – 224 с.
50. *Линник В.П.* Труды Кеплера в области оптики (К 400-летию со дня рождения) // Успехи физических наук. – 1973. – Т. 109. – №. 1. – С. 167-174.
51. *Лукреций Кар.* О природе вещей / Пер. Ф.А. Петровского. – М.: Гослитиздат, 1958.
52. *Марр Д.* Зрение. Информационный подход к изучению представлений и обработки зрительных образов. / Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987– 400 с.
53. *Медведев Л. Н., Шошина И. И.* Количественная оценка влияния пола и типа межполушарной асимметрии на искажение зрительного восприятия фигуры

- Поггендорфа в модификации Джастроу // Физиология человека. – 2004. – Т. 30. – № 5. – С. 5-11.
54. *Медведев Л.Н., Шошина И.И.* Влияние возраста на проявление зрительной иллюзии Поггендорфа // Сенсорные системы. – 2004. – Т. 18. – № 4. – С. 325-329.
55. *Медведев Л.Н., Шошина И.И., Федорова Е.С.* Отражение в вызванном потенциале процессов зрительного восприятия фигуры Поггендорфа // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. – 2011. – Т. 61. – № 1. – С. 61-66.
56. *Медведев, Л.Н., Шошина И.И.* Количественная оценка влияния пола и типа меж полушарной асимметрии на искажение зрительного восприятия фигуры Поггендорфа в модификации Джастроу // Физиология человека. – 2004. – Т. 30. – № 5. – С. 5-11.
57. *Меньшикова Г.Я* Психологические механизмы восприятия зрительных иллюзий. – М.: МАКС Пресс, 2013. – 128 с.
58. *Меньшикова Г.Я.* Зрительные иллюзии как способ исследования восприятия светлоты поверхности // Вестник Московского университета. Сер.14, Психология. – 2006. – № 4. С. 43-48.
59. *Меньшикова Г.Я.* Зрительные иллюзии: психологические механизмы и модели: дис. ... докт. психол. наук: 19.00.02. МГУ им. М. В. Ломоносова, – М. 2013. – 301 с
60. *Меньшикова Г.Я. и др.* Использование зрительных иллюзий в задачах моделирования работы зрительной системы человека // Труды Международного Конгресса по системам искусственного интеллекта AIS-IT/SAD. – 2009. – Т. 9. – С. 194-198.
61. *Меньшикова Г.Я. и др.* Эффект артикуляции в трехмерных зрительных иллюзиях // Экспериментальная психология. – 2013. – Т. 6. – №. 2. – С. 46-57.
62. *Меньшикова Г.Я.* Изучение восприятия светлоты поверхности при помощи технологии виртуальной реальности // Национальный психологический журнал. – 2012. – № 2(8). – С. 110-115.

63. *Меньшикова Г.Я.* К вопросу о классификации зрительных иллюзий // Психологические исследования. – 2012. – Т. 5. – №. 25. – С. 1-1.
64. *Меньшикова Г.Я., Лунякова Е.Г., Полякова Н.В.* Влияние трехмерной конфигурации на выраженность зрительных иллюзий // Современная экспериментальная психология. – 2010. – №. 2. – С. 135-144.
65. *Мильруд Р. П.* Зависимость зрительных иллюзий от уровня познавательного развития // Вопросы психологии. 1997 – Вып. 1. – С. 114-120.
66. *Ньютон И.* Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света. – М.: Гостехиздат, 1954.
67. *Огников В.В.* Геометрические зрительные иллюзии и константность восприятия размера у детей и взрослых: дис. – Российский университет дружбы народов (РУДН), 2008.
68. *Огников В.В. и др.* Средняя величина и вариабельность иллюзии Мюллера-Лайера в сравнении с глазомером у детей и взрослых // Сенсорные системы. – 2006. – Т. 20. – №. 4. – С. 288-299.
69. *Огников В.В. и др.* Средняя величина и вариабельность иллюзии Мюллера-Лайера в сравнении с глазомером у детей и взрослых // Сенсорные системы. – 2006. – Т. 20. – №. 4. – С. 288-299.
70. *Павлова Е.В.* Категория света в теории зрительного восприятия итальянского возрождения: динамика представлений: дис. ... канд. искусствоведения: 17.00.04. – Москва, 2012. – 206 с.
71. *Платон.* Собрание сочинений. В 4 т / Под общ. ред. А.Ф. Лосева, В.Ф. Асмуса, А.А. Тахо-Годи. – Т. 3. – М.: Мысль, 1994. – С. 421-490.
72. *Ракчеева Т.А.* Особенности зрительного восприятия расстояния на примере оптико-геометрических иллюзий // Бионика - 2023. Материалы III Международной научно-практической конференции. – Москва, 2024. – С. 126-128.

73. *Ракчеева Т.А.* Визуальное восприятие расстояния в оптико-геометрических иллюзиях и возможности коррекции // Бионика - 2023. Материалы III Международной научно-практической конференции. – Москва, 2024. – С. 128-139.
74. *Ракчеева Т.А., Костоев А.Т.* Геометрические факторы зрительной иллюзии Поггендорфа // Сборник научных трудов постоянно действующего семинара «Теория систем». – Москва, 2020. – С. 115-118.
75. *Ракчеева Т.А., Смолянинов В.В., Николаева Е.С.* Ортогональные иллюзии зрительного восприятия // Современная медицина. Теория и практика. – 2004. – №. 1. – С. 42-51.
76. *Рожкова Г.И. и др.* Геометрические зрительные иллюзии и механизмы константности восприятия размера детей // Сенсорные системы. – 2005. – Т. 19. – №. 1. – С. 26-36.
77. *Соколов Е.Н.* Теоретическая психофизиология. – М.: Мир, 1986. – 358 с.
78. *Толанский С.* Оптические иллюзии. – М.: Мир, 1967. – 267 с.
79. *Толмачева Е.А. и др.* Особенности иллюзорного зрительного восприятия в норме и при патологии // Математика. Компьютер. Образование. – 2015. – С. 81-81.
80. *Толмачева Е.А. и др.* Особенности проявления зрительного иллюзорного восприятия у больных шизофренией // Сенсорные системы. – 2015. – Т. 29. – №. 3. – С. 251-257.
81. *Толмачева Е.А., Максименко М.Ю.* Зрительная иллюзия Мюллера-Лайера у детей младшего школьного возраста в норме и при задержке психического развития // Актуальные проблемы современного образования. – 2019. – № 1(26). – С. 166-177.
82. *Тумова М. А. и др.* Показатели когнитивного функционирования и характеристики зрительной системы при шизофрении: кросс-секционное исследование // Психиатрия. – 2023. – Т. 21. – №. 3. – С. 36-44.

83. *Федорова Е.С.* Отражение зрительной иллюзии Поггендорфа в событийно-связанных потенциалах коры головного мозга у лиц с определенными индивидуально-типологическими характеристиками: дис. – Челябинский государственный педагогический университет, 2010.
84. *Федорова Е.С., Медведев Л.Н.* Корреляция иллюзии Поггендорфа с формально-динамическими свойствами личности // Сенсорные системы. – 2011. – Т. 25. – №. 3. – С. 13-14.
85. *Федорова Е.С., Медведев Л.Н.* Корреляция иллюзии Поггендорфа с формально-динамическими свойствами личности //Сенсорные системы. – 2011. – Т. 25. – №. 3. – С. 13-14.
86. *Федорова Е.С., Медведев Л.Н., Шошина И.И.* Особенности распределения величины зрительно-пространственного интеллекта и его влияния на склонность к зрительной иллюзии // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2009. – №. 3(81). – С. 42-45.
87. *Федорова Е.С., Шошина И.И.* Зрительно-пространственные способности и склонность к возникновению иллюзии Поггендорфа //Вестник Красноярского государственного педагогического университета им. ВП Астафьева. – 2007. – №. 2. – С. 35-39.
88. *Хьюбел Д.* Глаз, мозг, зрение. / Пер. с англ – М.: Мир, 1990. – 239 с.
89. *Чихман В. Н. и др.* Информационные технологии зрительного эксперимента // Экспериментальная психология в России: традиции и перспективы. – 2010. – Т. 3. – С. 189-194.
90. *Чунтонов Д.А., Быстрова Т.Ю.* Применение гештальт-принципов в дизайне с использованием оптических иллюзий // Академический вестник УралНИИ-проект РААСН. – 2022. – №. 2 (53). – С. 108-114.
91. *Шошина И. И. и др.* Особенности зрительной оценки размера и местоположения частей объекта у лиц с начальной стадией шизофрении // Экспериментальная психология. – 2011. – Т. 4. – №. 4. – С. 17-26.

92. *Шошина И.И.* Влияние пола и возраста на зрительное искажение фигуры Поггендорфа (в модификации Джастроу) у правшей и левшей [Электронный ресурс]: дис. ... канд. биол. наук 03.00.13. – М.: РГБ, 2005 (Из фондов Российской Государственной Библиотеки).
93. *Шошина И.И. и др.* Особенности восприятия длины отрезков в условиях иллюзии Понцо и Мюллера-Лайера при шизофрении // Журнал высшей нервной деятельности им. ИП Павлова. – 2011. – Т. 61. – №. 6. – С. 697-697.
94. *Шошина И.И., Медведев Л.Н.* Возрастные особенности влияния пола и зрительной асимметрии на восприятие фигуры Поггендорфа // Сенсорные системы. – 2005. – Т. 19. – №. 1. – С. 37-43.
95. *Шошина И.И., Пронин С.В., Шелепин Ю.Е.* Влияние предварительной фильтрации изображения на пороги различения длины отрезков в условиях иллюзии Мюллера-Лайера // Экспериментальная психология. – 2010. – Т. 3. – №. 4. – С. 16-24.
96. *Шошина И.И., Пронин С.В., Шелепин Ю.Е.* Использование вейвлетной фильтрации входного изображения для изучения механизмов возникновения зрительной иллюзии Мюллера-Лайера // Оптический журнал. – 2011. – Т. 78. – №. 12. – С. 70-75.
97. *Ярбус А.Л.* О некоторых иллюзиях в оценке видимых расстояний между краями предметов // Исследования по психологии восприятия. – М., 1948. – С. 289-306.
98. *Ярбус А.Л.* Роль движений глаз в процессе зрения. – М.: Наука, 1965. – 165 с.
99. *Campbell F.W., Robson J.G.* Application of Fourier analyses to the visibility of gratings // J. Physiol. – 1968. – Vol. 197. – № 3. – Pp. 551-566.
100. *Coren S., Hoenig P.* Effect of non-target stimuli upon length of voluntary saccades // Percept. Mot. Skills. – 1972. – Vol. 34. – № 2. – Pp. 499-508.
101. *Dakin S., Carlin P., Hemsley D.* Weak suppression of visual context in chronic schizophrenia // Current Biology. – 2005. – Vol. 15. – № 20. – Pp. 822-824.



102. *Day R.H.* The oblique line illusion: the Poggendorff effect without parallels // *Q. J. Exp. Psychol.* – 1973. – Vol. 25. – № 4. – Pp. 535-541.
103. *Day R.H.* Visual spatial illusions: a general explanation // *Science.* – 1972 – Vol. 175. – № 4028. – Pp. 1335-1340.
104. *Day R.H., Dickinson R.G.* The components of the Poggendorff illusion // *Br. J. Psychol.* – 1976. – Vol. 67. – № 4. – Pp. 537-552.
105. *Day R.H., Kasperczyk R.T.* Apparent displacement of lines and dots in a parallel-line figure: A clue to the basis of the Poggendorff // *Perception & Psychophysic.* – 1985. – Vol. 38. – Pp. 74-80.
106. *Declerck C., De B.B.* Sex differences in susceptibility to the Poggendorff illusion. // *Percept. Mot. Skills.* – 2002. – Vol. 94. – № 1. – Pp. 3-8.
107. *Eastwood B.S.* The elements of vision: The micro-cosmology of Galenic visual theory according to Ḥunayn Ibn Ishāq. – Philadelphia: American Philosophical Society. – 1982. – 59 p.
108. *Gillam B.* Geometrical Illusions // *Scientific American.* – 1980. – Vol. 242.– № 1. – Pp. 102-111.
109. *Gillam B.* A depth processing theory of the Poggendorff illusion // *Perception & Psychophysics.* – 1971. – Vol. 10. – Pp. 211-216.
110. *Ginsburg A.P.* Spatial filtering and visual form perception // *Handbook of perception and human performance* / Eds. K.R. Boff, L. Kaufman, J.P. Thomas. – New York: Wiley. – 1986. – Vol. 2. – Pp. 34-41.
111. *Ginsburg A.P.* Visual form perception based on biological filtering // *Sensory Experience, Adaptation and Perception* / Eds. L. Spillmann, B.R. Wooten.– Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. – 1984. – Pp. 53-72.
112. *Girgus J.S., Coren S.* The interaction between stimulus variations and age trends in the Poggendorff illusion // *Perception & Psychophysics.* – 1987.– Vol. 41. – № 1. – Pp. 60-66.

113. *Glass L.* Effect of Blurring on Perception of a Simple Geometric Pattern // *Nature*. – 1970. – Vol. 228. – Pp. 1341-1342.
114. *Glezer V.D.* Vision and Mind: Modeling Mental Functions. – Mahwah NJ: Lawrens Erlbaum Ass. Publ. – 1995. – 274 p.
115. *Greene E.* The corner Poggendorff // *Perception*. – 1988. – Vol. 17. № 1. – Pp. 65-70.
116. *Greene E., Pavlov G.* Angular induction as a function of contact and target orientation // *Perception*. – 1989. – Vol. 18. – № 2. – Pp. 143-154.
117. *Gregori R.L.* Visual illusion classified // *Trends in Cognitive Sciences*. – 1997. – Vol. 1. – № 5. – Pp. 190-194.
118. *Gregory R.L.* Cognitive contours // *Nature*. – 1972. – Vol. 238. – № 5358 – Pp. 51-52.
119. *Gregory R.L.* On how little information controls so much behaviour // *Ergonomics*. – 1970. – Vol. 13. – № 1. – Pp. 25-35.
120. *Greist-Bousquet S, Schiffman H.R.* Poggendorff and Müller-Lyer illusions: common effects // *Perception*. – 1985. – Vol. 14. – №4. – Pp. 427-447.
121. *Greist-Bousquet S, Schiffman H.R.* The Poggendorff illusion: an illusion of linear extent? // *Perception*. – 1981. – Vol. 10. – №2. – Pp. 155-164.
122. *Hering E.* Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges / Ed. By F.C. W. Fogel. – Leipzig, 1879.
123. *Hering E.* Outlines of a theory of the light sense. – Cambridge: Harvard University Press, 1920.
124. *Hobbes T.* Decameron physiologicum: or, Ten dialogues of natural philosophy. By Thomas Hobbes.. To which is added The proportion of a straight line to half the arc of a quadrant. By the same author. – London: printed by J. C. for W. Crook, 1678. – 136 p.

125. *Hourani G.F.* Averroes on the harmony of religion and philosophy A transl. with introd. and notes, of Ibn Rushd's Kitāb faṣl al-maqāl, with its appendix (Damīma), and an extract from Kitāb al-kashf 'an manāhij al-adilla / By George F. Hourani. – London: M. Luzac & co., 1961. – 128 p.
126. *Hurvich L.M., Jameson D.* Some quantitative aspects of an opponent– colors theory. IV. A psychological color specification system // Journal of the Optical Society of America. 1956. – Vol. 46. – № 6. – Pp. 416-421.
127. *Jastrow J.* Studies from the laboratory of experimental psychology of the University of Wisconsin // The American Journal of Psychology. – 1891. – Vol. 4. – №. 2. – Pp. 198-223.
128. *Jones-Buxton R.A., Wall H.M.* The Poggendorff illusion: effect of distance between the parallel lines // Percept. Mot. Skills. – 2001. – Vol. 92. – №. 3. – Pp. 706-710.
129. *Kantrowitz J.T, Butler P.D, Schechter I., Silipo G., Javitt D.C.* Seeing the world dimly: the impact of early visual deficits on visual experience in schizophrenia // Schizophrenia Bulletin. – 2009. – Vol. 35. – №6. – Pp. 1085-1094.
130. *Kostoev A.T., Tsurkov V.I.* Automation of testing systematic errors in visual perception //Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2024. – Vol. 63. – №. 3. – Pp. 462-478.
131. *Kostoev A.T., Tsurkov V.I.* Testing systematic errors of distances and lengths in geometric illusions // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2025. – Vol. 64. – №. 1. – Pp. 112-120.
132. *Külpe O.* Grundriss der Psychologie. – Leipzig: Wilhelm Engelmann, 1893.
133. *Leibowitz H., Toffey S.* The effects of rotation and tilt on the magnitude of the Poggendorff illusion // Vision Research. – 1966. – Vol. 6. –№1. –Pp. 101-103.
134. *Leibowitz H.W, Gwozdecki J.* The magnitude of the Poggendorff illusion as a function of age // Child. Dev. – 1967. – Vol. 38. – №2. – Pp. 573-580.
135. *Leibowitz H.W, Judisch J.M.* The relation between age and the Ponzo illusion // Am. J. of Psychology. – 1967. – Vol. 80. – № 1. – Pp. 105-109.

136. *Li C.Y., Guo K.* Measurements of geometric illusions, illusory contours and stereodepth at luminance and colour contrast // *Vision Res.* – 1995. – Vol. 35. – № 12. – P. 1713-1720.
137. *Lindberg D.C.* Theories of Vision from al-Kindi to Kepler. – University of Chicago Press, 1976. – 323 p.
138. *Morgan M.J.* The Poggendorff illusion: a bias in the estimation of the orientation of virtual lines by second-stage filters // *Vision Res.* – 1999. – Vol. 39. – № 14. – P. 2361-2380.
139. *Oppel J.J.* Uber geometrisch-optische Tauschungen // *Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt am Main.* – 1855.
140. *Poggendorff J.C.* Beitrag zur Kenntniss der Inductions-Apparate und deren Wirkungen // *Annalen der Physik.* – 1855. – Vol. 170. – №. 2. – Pp. 289-333.
141. *Porac C., Coren S., Girgus J.S., Verde M.* Visual-geometric illusions: unisex phenomena // *Perception.* – 1979. – Vol. 8. – №. 4. – P. 401-412.
142. *Predebon J.* Decrement of the Muller-Lyer and Poggendorff illusions: the effects of inspection and practice // *Psychol. Res.* – 2006. – Vol. 70. – № 5.– Pp. 384-394.
143. *Rakcheeva T.* Metric Properties of the Visual Illusion of Intersection // *Advances in Intelligent Systems and Computing.* – 2020. – Vol. 902. – Pp. 323-332.
144. *Rakcheeva T.A., Kostoev A.T.* Research of orientation characteristics of visual intersection illusion // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* – IOP Publishing, 2020. – Vol. 747. – №. 1. – Pp. 012073
145. *Restle F., Decker J.* Size of the Mueller-Lyer illusion as a function of its dimensions: Theory and data // *Perception & Psychophysics.* – 1977.– Vol. 21 – Pp. 489-503.
146. *Romanenkov A.M., Temnov A.A., Kostoev A.T.* Methods of Creating Fault-Tolerant Geographically Distributed Systems // *Mathematical Statistician and Engineering Applications.* –2022. – Vol. 71. –№ 2. – Pp. 168-176.

147. *Sabra A.I.* The Optics of Ibn al-Haytham: Books I–III: On Direct Vision / Translated with introduction, commentary, glossaries, and concordance by A. I. Sabra. – London: Warburg Institute, University of London, 1989. – 735 p.
148. *Samph, T., Sauper, M., Price, E.J., Light K.* Testing system including removable storage means for transfer of test related data and means for issuing a certification upon successful completion of the test // United States patent US 5195033 A. – Publ. Mar. 16, 1993.
149. *Shoshina, I.I., Shelepin, Y.E.* Effectiveness of Discrimination of the Sizes of Line Segments by Humans with Different Cognitive Style Parameters // Neuroscience and Behavioral Physiology. – Vol. 44. – 748-753.
150. *Spehar B., Gillam B.* Modal completion in the Poggendorff illusion: support for the depth-processing theory // Psychol. Sci. – 2002 – Vol. 13. – № 4. – Pp. 306-312.
151. *Titchener E.B.* Experimental psychology: A retrospect // The American Journal of Psychology. – 1925. – Vol. 36. – №. 3. – Pp. 313-323.
152. *Tolmacheva E.A., Ognivov V.V., Bastakov V.A., Shevelenkova T.D.* The Müller-Lyer illusion in patients with schizophrenia and Parkinson's disease // Schizophrenia Research. – 2018. – Vol. 201. – Pp. 418-419.
153. *Walker E.H.* A mathematical theory of optical illusions and figural aftereffects // Percept. Psychophys. – 1973. – Vol. 13. – № 3.– Pp. 467-486.
154. *Ward L.M, Porac C., Coren S., Girgus J.S.* The case for misapplied constancy scaling: depth associations elicited by illusion configurations // Am. J. Psychol. – 1977. – Vol. 90. – №4. – Pp. 609-620.
155. *Weintraub D.J., Krantz D.H.* The Poggendorff illusion: Amputations, rotations, and other perturbations // Perception & Psychophysics. – 1971. – Vol. 10. – № 4-B. – Pp.257-264.
156. *Weintraub D.J., Tong L.* Assessing Poggendorff effects via collinearity, perpendicularity, parallelism, and Oppel (distance) experiments // Perception & Psychophysics. – 1974. – Vol. 16. – Pp. 213-221.

157. *Wenderoth P.* Alignment errors in Poggendorff-like displays when the variable segment is a dot, a dot series, or a line // *Percept. Psychophys.* – 1980. – Vol. 27. – № 6. – Pp. 505-518.
158. *Wilson A.E., Pressey A.W.* The role of apparent distance in the Poggendorff illusion // *Perception & Psychophysics.* – 1976. – Vol. 20. – №4 – Pp. 309-316.
159. *Wilson H.R.* Discrimination of contour curvature: data and theory // *J. Opt. Soc. Am. A.* –1985. – Vol. 2. – № 7. – Pp. 1191-1199.
160. *Wundt W.M.* Die geometrisch-optischen Täuschungen. – BG Teubner, 1898. – Vol. 24. – №. 2.

## СПИСОК ТАБЛИЦ

Табл. 4.1. Параметры тест-объектов иллюзии Поггендорфа .....	70
Табл. 4.2. Параметры тест-объектов иллюзии Мюллера-Лайера .....	72
Табл. 4.3. Параметры тест-объектов иллюзии Вунда-Фика.....	74
Табл. 4.4. Характеристика испытуемых. ....	75
Табл. 4.5. Форма записи количественной регистрации ошибок.....	77
Табл. 4.6. Усредненные эмпирические данные $\Delta I$ , зависимые от параметра $G$ .....	77
Табл. 4.7. Данные экспериментов для исследования зависимости $\Delta I$ от $W$ .....	79
Табл. 4.8. Данные экспериментов для исследования зависимости $\Delta I$ от $\alpha$ .....	80
Табл. 4.9. Данные экспериментов для исследования зависимости $\Delta L$ от $\varphi$ .....	82
Табл. 4.10. Данные экспериментов для исследования зависимости $\Delta S$ от $S_{\text{реф}}$ .....	83
Табл. 4.11. Данные экспериментов для исследования зависимости $\Delta S$ от $D$ .....	84
Табл. 4.12. Данные экспериментов для исследования зависимости $\Delta S$ от $\varphi$ .....	85
Табл. 4.13. Данные экспериментов для исследования зависимости $\Delta l$ от $\alpha$ .....	86
Табл. 4.14. Данные экспериментов для исследования зависимости $\Delta l$ от $P$ . ....	87
Табл. 4.15. Данные экспериментов для исследования зависимости $\Delta l$ от $\varphi$ .....	88

## СПИСОК РИСУНКОВ

Рис. 1.1. Фигуры, вызывающие иллюзию иррадиации Гельмгольца .....	16
Рис. 1.2. Фигуры, вызывающие иллюзию Мюллера- Лайера .....	17
Рис. 1.3. Фигуры, вызывающие иллюзию Эббингауза .....	18
Рис. 1.4. Фигура, вызывающая иллюзию переоценки вертикальной линии .....	18
Рис. 1.5. Фигура, вызывающая иллюзию Поггендорфа .....	19
Рис. 1.6. Фигуры, вызывающие иллюзию Цёльнера .....	20
Рис. 1.7. Фигуры, вызывающие иллюзию перспективы Понцо .....	20
Рис. 2.1. Процесс тестирования зрительного восприятия.....	40
Рис. 2.2. Основные этапы процесса тестирования.....	41
Рис. 2.3. Этап разработки тестовых материалов .....	42
Рис. 2.4. Этап проведения тестирования.....	43
Рис. 2.5. Обработка и анализ результатов тестирования .....	44
Рис. 2.6. Обобщенная UML-диаграмма вариантов использования .....	45
Рис. 2.7. Сценарии использования системы исследователем .....	47
Рис. 2.8. Алгоритм взаимодействия исследователя с системой .....	48
Рис. 2.9. Сценарии использования системы испытуемым .....	49
Рис. 2.10. Алгоритм взаимодействия испытуемого с системой .....	50
Рис. 3.1. Автоматизированная система тестирования .....	56
Рис. 3.2. Программно реализуемые блоки системы тестирования .....	57
Рис. 3.3. Окно авторизации пользователей системы .....	58
Рис. 3.4. Окно регистрации пользователей.....	58
Рис. 3.5. Окно настройки параметров тест-объектов .....	59



Рис. 3.6. Окно выбора типа тестирований для пользователей.....	60
Рис. 4.1. Схема зрительной иллюзии пересечения (иллюзии Поггендорфа) .....	64
Рис. 4.2. Диапазон вариаций угла поворота $\varphi$ для иллюзии Поггендорфа .....	65
Рис. 4.3. Иллюзия расстояния между краями окружностей .....	66
Рис. 4.4. Диапазон вариаций угла поворота $\varphi$ для иллюзии Мюллера-Лайера .....	67
Рис. 4.5. Схема ошибки, возникающей при переоценки вертикальной линии, относительно горизонтальной .....	68
Рис. 4.6. Диапазон вариаций угла поворота $\varphi$ для иллюзии Вунда-Фика.....	68
Рис. 4.7. Процесс работы испытуемого с тест-объектом и последующая фиксации данных .....	70
Рис. 4.8. Вариации тест-объектов для исследования зависимости ошибки смещения $\Delta L$ : а) от ширины $W$ полосы; б) от угла $\alpha$ наклона прямой; в) от угла $\varphi$ поворота тест-объекта .....	71
Рис. 4.9. Процесс работы испытуемого с тест-объектом иллюзии Мюллера-Лайера и последующая фиксации данных.....	72
Рис. 4.10. Вариации тест-объектов для исследования зависимости ошибки расстояния $\Delta S$ : а) от референтного расстояния $S_{\text{реф}}$ ; б) от диаметра $D$ окружностей; в) от угла $\varphi$ поворота тест-объекта.....	73
Рис. 4.11. Процесс работы испытуемого с тест-объектом иллюзии Вунда-Фика и последующая фиксации данных .....	73
Рис. 4.12. Вариации тест-объектов для исследования зависимости ошибки длины $\Delta S$ : а) от местоположения $P$ ; б) от угла $\alpha$ наклона вертикали; в) от угла $\varphi$ поворота тест-объекта .....	74
Рис. 4.13. Зависимость ошибки смещения $\Delta L$ от: а) ширины $W$ полосы; б) угла $\alpha$ наклона входного отрезка .....	80

Рис. 4.14. Зависимости ошибки смещения $\Delta L$ от угла $\varphi$ поворота тест-объекта при различных параметрах $\alpha$ .....	81
Рис. 4.15. Тригонометрическая регрессионная модель зависимости ошибки смещения $\Delta L$ от угла поворота $\varphi$ тест-объекта .....	83
Рис. 4.16. Зависимость ошибки расстояния $\Delta S$ от: а) расстояния $S_{\text{реф}}$ ; б) диаметра $D$ окружностей.....	84
Рис. 4.17. Тригонометрическая регрессионная модель зависимости ошибки смещения $\Delta S$ от угла поворота $\varphi$ тест-объекта. ....	85
Рис. 4.18. Зависимость ошибки длины $\Delta l$ от: а) местоположения $L$ ; б) угла $\alpha$ наклона вертикали.....	87
Рис. 4.19. Тригонометрическая регрессионная модель зависимости ошибки длины $\Delta S$ от угла поворота $\varphi$ тест-объекта .....	88
Рис. 4.20. Общий график зависимостей величин ошибок $\Delta l$ в трёх типах иллюзий от угла $\varphi$ поворота тест-объектов.....	89

## ПРИЛОЖЕНИЕ А. ТАБЛИЦЫ ЧИСЛОВЫХ ДАННЫХ ПРОВЕДЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Таблица 1. Числовые результаты тестирований (экспериментов) для исследования зависимости ошибки смещения  $\overline{\Delta L}$  (в мм) от ширины  $W$  (в мм) полосы в иллюзии Поггендорфа.

№ п.п.	$W_1$ 10.00	$W_2$ 20.00	$W_3$ 30.00	$W_4$ 40.00	$W_5$ 50.00	$W_6$ 60.00
1	3.00	6.30	9.00	13.30	18.20	21.30
2	4.60	8.60	10.60	13.10	16.60	20.60
3	3.60	7.60	14.00	18.00	19.30	22.00
4	3.30	7.30	12.70	13.60	18.30	23.70
5	3.30	7.90	10.60	12.50	17.00	23.00
6	5.00	8.60	9.30	15.60	17.00	20.00
7	1.60	4.20	10.30	12.60	16.20	20.40
8	2.50	5.30	9.60	14.70	19.60	22.00
9	6.00	8.30	13.00	19.30	26.70	32.50
10	5.60	7.00	15.80	19.00	25.00	30.60
11	4.70	7.60	11.00	13.30	18.30	21.10
12	5.40	9.00	12.50	20.30	19.00	29.80
13	6.30	8.00	12.30	14.00	17.20	20.00
14	4.00	9.30	15.60	19.40	21.60	30.60
15	3.00	6.30	9.00	13.30	18.20	21.30
16	4.60	8.60	10.60	13.10	16.60	20.60
17	3.60	7.60	14.00	18.00	19.30	22.00
18	3.30	7.30	12.70	13.60	18.30	23.70
19	3.30	7.90	10.60	12.50	17.00	23.00
20	5.00	8.60	9.30	15.60	17.00	20.00
21	1.60	4.20	10.30	12.60	16.20	20.40
22	2.50	5.30	9.60	14.70	19.60	22.00
23	6.00	8.30	13.00	19.30	26.70	32.50
24	6.60	7.00	15.80	19.00	25.00	30.60
25	4.70	7.60	11.00	13.30	18.30	21.10
26	5.40	9.00	12.50	20.30	19.00	29.80
27	6.30	8.00	12.30	14.00	17.20	20.00
28	4.00	9.30	15.60	19.40	21.60	30.60
29	6.30	8.00	12.30	14.00	17.20	20.00
30	4.00	9.30	15.60	19.40	21.60	30.60
31	6.88	9.23	12.89	13.24	15.37	16.98
32	4.92	7.05	10.55	13.27	17.91	19.22
33	5.75	7.17	10.15	21.06	22.09	24.42
34	6.57	6.14	10.78	14.94	24.40	26.86
35	6.03	5.63	11.35	17.94	17.07	31.13
36	2.93	5.24	12.14	18.35	16.83	18.37
37	5.71	10.25	9.51	15.25	19.00	21.11
38	4.12	7.88	13.96	17.42	20.31	24.01
39	4.19	6.98	11.02	15.28	22.65	23.93
40	4.93	5.86	8.72	16.75	16.07	26.54

№ п.п.	$W_1$ 10.00	$W_2$ 20.00	$W_3$ 30.00	$W_4$ 40.00	$W_5$ 50.00	$W_6$ 60.00
41	4.55	8.65	15.22	12.60	15.87	23.42
42	4.43	9.37	16.10	16.53	17.99	23.11
43	5.44	7.29	9.55	19.42	21.81	27.90
44	4.52	6.35	11.63	13.74	25.04	33.92
45	4.98	8.11	9.72	15.27	22.12	30.20
46	4.82	9.88	14.29	14.47	19.55	22.53
47	4.49	5.96	11.11	19.89	15.64	23.11
48	4.04	7.54	14.65	17.58	21.81	29.14
49	4.79	8.17	11.47	12.83	16.31	20.20
50	3.11	7.67	14.12	13.53	14.69	27.07
51	0.66	7.99	12.79	17.21	22.83	25.91
52	5.28	6.71	13.54	13.80	20.23	24.08
53	5.58	7.08	12.04	15.78	22.03	20.87
54	3.27	6.66	15.86	13.90	20.24	22.30
55	5.61	7.09	12.29	17.59	21.84	23.75
56	2.25	6.47	12.88	17.31	22.35	28.29
57	4.41	9.21	16.07	15.10	18.21	25.62
58	4.07	7.82	9.12	16.80	21.32	27.73
59	3.55	7.03	9.29	12.62	18.90	22.09
60	2.46	6.35	11.10	11.50	17.24	19.94
61	4.56	8.21	9.50	16.92	17.93	21.13
62	4.88	6.34	16.20	16.16	19.34	24.11
63	3.06	7.65	10.13	14.47	18.24	24.90
64	3.49	8.58	10.41	11.39	15.19	29.36
65	3.84	7.76	11.15	18.34	20.37	21.10
66	4.20	9.12	12.20	13.12	15.66	17.89
67	3.11	9.81	11.04	18.83	19.15	22.63
$\overline{\Delta L}$	4.34	7.58	12.02	15.69	19.29	24.19
$\sigma$	1.32	1.31	2.16	2.61	2.87	4.17

Таблица 2. Числовые результаты тестирований (экспериментов) для исследования зависимости ошибки смещения  $\overline{\Delta L}$  (в мм) от угла  $\alpha$  (в рад) наклона диагональной линии в иллюзии Поггендорфа.

№ п.п.	$\alpha_1$ $\pi/8$	$\alpha_2$ $\pi/6$	$\alpha_3$ $\pi/4$	$\alpha_4$ $\pi/3$	$\alpha_5$ $\pi/2$	$\alpha_6$ $2\pi/3$	$\alpha_7$ $3\pi/4$	$\alpha_8$ $5\pi/6$	$\alpha_9$ $7\pi/8$
1	35.99	22.75	8.46	2.94	0.4	4.54	14.04	22.8	28.97
2	31.78	17.54	12.51	5.01	0.56	0.26	12.68	22.66	29.26
3	33.56	21.19	12.2	4.33	0.68	4.26	5.65	19.96	29.19
4	37.46	23.76	9.78	4.3	-0.59	2.2	12.68	20.91	29.53
5	36.31	21.48	11.64	5.1	1.3	6.44	14.2	19.35	30.73
6	27.52	25.32	7.04	3.27	0.68	5.37	11.7	21.14	25.46
7	33.48	16.3	5.81	2.17	0.26	2.62	10.89	25.47	29.04
8	30.07	22.52	11.78	3.74	0.36	2.2	8.83	26.64	35.57
9	30.22	18.39	10.94	3.16	0.72	1.24	6.71	18.73	28.51
10	31.81	17.68	12.38	4.72	0.47	2.64	14.15	25.95	28.29
11	30.99	18.79	17.78	3.8	-0.29	2.93	10.48	23.68	33.94

№ п.п.	$\alpha_1$ $\pi/8$	$\alpha_2$ $\pi/6$	$\alpha_3$ $\pi/4$	$\alpha_4$ $\pi/3$	$\alpha_5$ $\pi/2$	$\alpha_6$ $2\pi/3$	$\alpha_7$ $3\pi/4$	$\alpha_8$ $5\pi/6$	$\alpha_9$ $7\pi/8$
12	35.03	19.81	13.34	4.53	1.35	2.78	10.73	17.67	30.45
13	32.89	21.2	7.6	2.59	0.48	3.72	17.24	25.6	34.32
14	30.92	16.56	13.87	1.85	0.93	4.49	13.77	18.64	32.6
15	31.91	24.41	6.35	2.67	0.24	4.07	12.73	20.38	30.55
16	31.57	22.76	8.99	3.28	1.13	2.06	11.97	25	30.3
17	35.16	15.15	10.21	3.9	0.63	0.84	16.53	12.37	33.44
18	29.91	21.65	15.71	6.81	0.76	5.91	17.19	27.33	28.95
19	31.51	28.19	8.12	3.24	0.1	2.19	14.58	23.89	27.42
20	27.9	25.47	7.87	1.83	1	2.26	13.43	21.74	34.76
21	22.65	15.31	10.12	2.77	0.8	2.5	4.57	19.69	21.17
22	32.56	16.92	8.37	2.59	0.01	0.1	11.91	26.2	30.02
23	33.21	25	13.9	4.06	0.27	2.57	11.07	20.64	24.94
24	28.25	19.46	7.08	0.92	0.33	2.57	11.81	25.85	27.11
25	37.55	25.64	6.87	3.41	1.44	4.56	14.62	26.56	37.4
26	26.05	21.78	9.07	3.55	0.1	5.7	2.43	27.58	29.77
27	30.68	24.7	8.88	3.67	0.47	3.45	9.62	21.63	30.66
28	29.96	22.34	16.38	2.38	0.97	3.13	12.39	19.54	23.33
29	35.28	23.67	13.35	2.94	0.56	4.06	9.95	20.05	27.24
30	35.08	21.03	10.69	1.1	0.75	3.41	6.81	18.25	30.67
31	31.02	27.78	6.63	2.55	0.36	3.73	14.38	21.62	31.26
32	31.71	21.47	13.03	2.47	0.67	2.09	12.42	23.27	32.23
33	27.8	22.52	7.33	3.95	0	2.73	8.29	21.78	29.97
34	24.42	18.15	5.65	1.52	1.18	2.96	12.54	25.84	31.9
35	29.46	15.87	14.09	4.52	0.47	5.9	14.22	21.06	31.62
36	31.02	16.16	11.4	5.63	0.25	3.95	11.52	20.65	23.15
37	34.34	24.67	13.27	0.1	0.79	1.64	14.15	19.81	30.08
38	34.26	16.53	11.4	3.97	0.34	4.96	11.76	16.04	32.79
39	29.34	26.38	13.07	4.36	-0.01	2.99	10.19	16.27	32.13
40	29.61	19.42	8.41	2.32	-0.02	3.53	7.66	17.67	28.59
41	27.3	18.15	7.22	2.69	0.8	4.33	11.22	26.57	26.95
42	26.15	21.3	12.53	3.1	0.46	4.6	12.14	25.11	25.79
43	25.27	20.62	7.94	2.85	0.47	7.6	14.4	26.84	29.45
44	36.57	28.79	8.29	2.83	0.95	3.07	11.12	17.12	34.14
45	28.97	24.43	9.01	0.71	0.07	5.03	13.01	14.83	32.7
46	29.19	17.72	10.47	5.1	0.23	5.37	8.31	19.53	27.49
47	26.67	18.25	9.33	4.98	0.37	4.14	8.91	22.53	25.71
48	32.94	19.97	6.17	2.05	0.56	0.64	11.13	23.69	32.85
49	25.55	19.04	8.43	1.04	0.5	1.59	8.01	25.66	27.88
50	29.88	21.59	15.55	4.12	0.41	3.51	14.22	22.92	28.19
51	27.77	20.4	12.35	2.42	0.2	0.44	13.03	28.16	29.14
52	31.74	23.32	5.47	3.53	0.48	1.66	12.42	21.1	31.59
53	28.96	24.49	7.01	2.82	0.23	0.78	12.62	18.62	28.48
54	26.89	18.42	10.58	4.38	2.19	6.42	14.19	15.86	18.64
55	30.45	16.81	8.13	4.39	0.63	3.74	9.95	18.71	31.96
56	31.86	22.12	15.19	2.19	0.55	3.47	4.21	22.77	31.57
57	30.75	26.03	6.43	1.17	0.06	3.04	12.16	18.71	29.13
58	31.47	18.35	11.25	2.86	0.4	2.8	11.33	25.26	25.92
59	29.58	20.42	10.3	4.26	0.46	5.51	14.79	26.97	38.25

№ п.п.	$\alpha_1$ $\pi/8$	$\alpha_2$ $\pi/6$	$\alpha_3$ $\pi/4$	$\alpha_4$ $\pi/3$	$\alpha_5$ $\pi/2$	$\alpha_6$ $2\pi/3$	$\alpha_7$ $3\pi/4$	$\alpha_8$ $5\pi/6$	$\alpha_9$ $7\pi/8$
60	29.42	19.34	6.81	2.47	1.42	2.91	8.26	22.39	31.35
61	29.46	21.02	12.04	2.52	0.24	5.06	10.05	25	36.2
62	29.43	21.54	9.89	2.39	0.9	4.99	12.1	19.86	29.14
63	28.03	22.54	12.8	3.23	0.82	5.51	19.84	23.34	29.49
64	25.21	18.06	12.96	6.31	0.04	6.09	19.49	26.3	29.28
65	31.09	23.04	17.1	7.6	0.83	4.98	8.32	22.13	39.19
66	30.3	18.43	14.55	4.12	0.05	2.36	8.87	17.31	31.49
67	25.1	16.11	9.28	3.45	-0.54	1.42	3.92	19.8	26.44
$\overline{\Delta L}$	<b>30.54</b>	<b>20.99</b>	<b>10.42</b>	<b>3.31</b>	<b>0.52</b>	<b>3.44</b>	<b>11.50</b>	<b>21.90</b>	<b>29.94</b>
$\sigma$	<b>3.28</b>	<b>3.36</b>	<b>3.07</b>	<b>1.41</b>	<b>0.47</b>	<b>1.67</b>	<b>3.41</b>	<b>3.57</b>	<b>3.69</b>

Таблица 3. Числовые результаты тестирований (экспериментов) для исследования зависимости ошибки расстояния  $\overline{\Delta S}$  (в мм) от референтного расстояния  $S_{\text{реф}}$  (в мм) в иллюзии Мюллера-Лайера.

№ п.п.	$S_{\text{реф}1}$ 20.00 мм	$S_{\text{реф}2}$ 25.00 мм	$S_{\text{реф}3}$ 30.00 мм	$S_{\text{реф}4}$ 35.00 мм	$S_{\text{реф}5}$ 40.00 мм	$S_{\text{реф}6}$ 45.00 мм	$S_{\text{реф}7}$ 50.00 мм
1	3.17	3.69	6.12	11.62	12.56	11.10	12.63
2	3.55	5.75	6.33	9.52	11.09	9.95	12.61
3	4.98	5.07	8.02	11.26	10.28	11.19	13.28
4	4.33	4.66	7.75	10.90	9.80	10.09	12.56
5	4.05	5.16	6.97	11.94	12.79	11.08	12.15
6	4.36	5.42	7.57	11.62	11.88	10.60	13.22
7	4.19	4.83	7.08	10.34	10.11	11.04	12.69
8	4.04	4.93	7.86	11.52	11.09	11.85	12.05
9	3.10	3.43	8.50	14.08	13.15	10.12	12.83
10	3.21	5.66	8.10	10.83	12.13	9.29	12.24
11	3.55	4.36	8.30	8.70	12.00	9.82	13.26
12	3.75	7.71	9.81	11.69	13.92	11.33	12.90
13	3.96	3.87	6.19	13.26	10.68	10.76	13.83
14	3.14	4.48	7.96	11.91	9.32	12.64	10.84
15	3.71	5.49	5.94	12.53	10.98	11.14	12.57
16	3.88	4.79	7.70	10.81	11.52	8.70	10.82
17	4.66	6.11	6.28	10.96	13.56	11.15	10.93
18	3.53	5.22	6.79	13.23	12.26	11.21	12.35
19	4.79	5.49	10.27	12.86	11.33	11.58	13.87
20	3.24	4.50	7.83	12.84	13.63	10.50	14.26
21	4.55	4.78	9.22	8.52	8.96	9.15	12.08
22	3.87	4.09	6.08	10.76	12.46	11.79	8.63
23	3.12	3.94	7.07	10.97	14.97	11.69	13.00
24	4.44	4.62	9.35	10.37	12.04	12.44	13.68
25	4.13	3.32	8.12	11.40	11.29	9.12	12.58
26	1.46	3.39	7.63	12.70	10.44	11.85	11.97
27	3.17	3.48	5.97	11.80	11.92	11.19	10.14
28	4.94	5.72	6.12	11.56	14.06	10.83	13.09
29	4.15	5.03	5.52	9.25	11.55	9.55	10.68
30	3.49	4.12	9.72	9.88	9.54	12.58	10.72

№ п.п.	$S_{\text{реф}1}$ 20.00 мм	$S_{\text{реф}2}$ 25.00 мм	$S_{\text{реф}3}$ 30.00 мм	$S_{\text{реф}4}$ 35.00 мм	$S_{\text{реф}5}$ 40.00 мм	$S_{\text{реф}6}$ 45.00 мм	$S_{\text{реф}7}$ 50.00 мм
31	3.10	4.43	5.54	11.45	11.60	11.85	12.45
32	4.26	4.32	8.19	11.42	13.60	10.96	12.78
33	3.53	4.21	7.12	11.48	10.93	10.78	12.11
34	4.34	5.51	6.91	10.16	9.17	12.57	14.11
35	4.33	4.47	6.78	10.90	13.18	10.84	8.44
36	4.06	4.43	7.86	8.89	13.83	12.42	11.45
37	2.13	4.36	6.77	11.32	10.46	9.29	12.64
38	4.50	4.37	8.63	11.97	11.64	11.34	13.58
39	4.05	5.08	9.57	11.62	7.92	10.99	10.65
40	3.64	4.25	7.10	10.69	13.18	12.31	12.58
41	4.22	4.78	6.74	10.84	11.41	13.19	13.47
42	2.10	5.49	7.04	10.75	13.06	9.92	12.09
43	3.95	5.29	6.81	12.55	9.63	10.13	14.50
44	3.27	3.93	7.29	9.14	7.84	9.15	9.84
45	3.92	3.46	8.80	11.02	12.27	9.50	15.30
$\overline{\Delta S}$	<b>3.78</b>	<b>4.70</b>	<b>7.50</b>	<b>11.20</b>	<b>11.58</b>	<b>10.90</b>	<b>12.32</b>
$\sigma$	<b>0.73</b>	<b>0.85</b>	<b>1.19</b>	<b>1.23</b>	<b>1.65</b>	<b>1.11</b>	<b>1.43</b>

Таблица 4. Числовые результаты тестирований (экспериментов) для исследования зависимости ошибки расстояния  $\overline{\Delta S}$  (в мм) от диаметра  $D$  (в мм) окружностей в иллюзии Мюллера-Лайера.

№ п.п.	$D_1$ 5 мм	$D_2$ 7 мм	$D_3$ 10 мм	$D_4$ 12 мм	$D_5$ 15 мм
1	0.72	3.05	9.71	13.19	11.43
2	1.08	5.17	8.64	10.80	11.11
3	1.34	3.15	5.91	11.23	14.40
4	1.57	3.12	5.93	10.10	12.54
5	1.88	4.22	7.89	15.33	16.68
6	2.29	2.22	7.20	9.90	15.98
7	1.27	3.26	8.59	13.71	12.33
8	1.06	3.34	5.44	10.89	14.46
9	1.56	1.73	7.02	11.81	12.85
10	0.67	4.00	7.36	10.37	12.25
11	1.16	1.37	6.70	10.27	14.42
12	1.05	2.53	6.21	12.03	13.66
13	2.58	2.19	5.24	10.11	12.55
14	2.30	2.85	6.48	11.07	15.07
15	0.96	1.17	6.52	10.71	14.60
16	0.81	4.83	9.47	12.85	13.50
17	1.79	5.17	5.53	12.41	14.14
18	1.65	3.94	5.89	12.27	14.67
19	1.63	2.74	5.91	10.87	12.75
20	2.39	2.94	5.34	10.20	12.02
21	1.05	3.65	7.06	12.50	13.30
22	0.58	2.33	6.02	12.43	16.01
23	1.20	1.78	6.12	10.99	12.22
24	2.11	3.21	6.36	10.52	12.89

№ п.п.	$D_1$ 5 мм	$D_2$ 7 мм	$D_3$ 10 мм	$D_4$ 12 мм	$D_5$ 15 мм
25	1.91	2.30	5.86	11.48	13.15
26	1.72	2.63	7.86	10.50	14.11
27	0.12	3.52	6.19	10.70	15.52
28	2.21	3.82	6.06	12.85	13.13
29	1.72	3.07	5.00	11.82	15.47
30	1.70	3.30	7.74	11.68	13.21
31	1.69	2.88	6.33	12.55	15.22
32	2.55	2.86	5.47	12.18	12.23
33	2.70	3.11	7.64	10.74	13.27
34	0.60	2.50	9.91	11.23	13.18
35	1.74	3.67	9.91	12.38	13.07
36	1.28	4.16	6.57	12.93	13.68
37	2.51	3.99	7.02	12.83	15.11
38	1.48	3.38	7.39	12.35	12.67
39	1.39	2.64	5.21	12.86	13.44
40	2.07	1.50	7.86	11.83	15.42
$\overline{\Delta S}$	<b>1.55</b>	<b>3.08</b>	<b>6.86</b>	<b>11.69</b>	<b>13.69</b>
$\sigma$	<b>0.63</b>	<b>0.95</b>	<b>1.34</b>	<b>1.18</b>	<b>1.34</b>

Таблица 5. Числовые результаты тестирований (экспериментов) для исследования зависимости ошибки длины  $\overline{\Delta l}$  (в мм) от угла  $\alpha$  (в мм) наклона вертикального отрезка в иллюзии Вунда-Фика.

№ п.п.	$\alpha_1$ $\pi/6$	$\alpha_2$ $\pi/4$	$\alpha_3$ $\pi/3$	$\alpha_4$ $\pi/2$	$\alpha_5$ $3\pi/4$	$\alpha_6$ $2\pi/3$	$\alpha_7$ $5\pi/6$
1	18.32	17.39	12.52	18.22	17.50	16.99	15.92
2	17.58	16.99	17.41	16.49	18.20	15.21	18.18
3	16.47	16.95	17.72	14.96	18.48	17.41	15.07
4	18.32	18.44	15.36	13.00	18.14	17.71	18.23
5	16.53	20.85	19.01	16.55	17.57	17.48	21.40
6	18.57	13.93	16.92	14.01	17.03	18.09	18.46
7	21.88	18.02	15.41	15.31	19.37	18.12	16.43
8	14.74	16.25	16.59	14.93	17.69	16.93	18.51
9	20.03	19.45	13.86	15.23	18.27	16.43	18.93
10	15.83	17.29	17.25	13.29	19.12	18.73	18.43
11	17.10	19.65	15.41	14.80	16.62	16.62	16.80
12	15.99	18.23	14.14	16.65	17.89	16.43	20.31
13	16.11	17.39	18.17	14.77	16.38	16.84	18.93
14	16.14	13.29	11.85	12.53	19.02	16.05	19.70
15	18.05	15.48	15.65	15.82	15.35	19.11	16.48
16	17.47	19.77	15.97	16.88	16.91	17.99	17.39
17	15.15	15.36	18.20	13.17	15.00	16.43	18.35
18	17.26	16.12	17.05	14.98	16.39	17.80	18.00
19	16.42	14.57	21.80	15.96	18.11	19.11	18.74
20	17.57	17.83	15.78	16.20	16.81	15.46	20.97
21	20.34	17.22	16.64	12.94	17.35	18.33	17.78
22	17.19	13.46	17.71	12.91	16.07	16.80	16.56
23	19.80	19.65	14.19	15.63	17.96	16.05	18.12



№ п.п.	$\alpha_1$ $\pi/6$	$\alpha_2$ $\pi/4$	$\alpha_3$ $\pi/3$	$\alpha_4$ $\pi/2$	$\alpha_5$ $3\pi/4$	$\alpha_6$ $2\pi/3$	$\alpha_7$ $5\pi/6$
24	22.40	17.19	15.12	15.82	17.01	19.40	20.20
25	15.11	14.12	15.30	19.88	15.76	19.68	17.96
26	15.76	16.84	19.14	13.03	17.27	18.04	16.81
27	17.82	20.14	17.34	16.25	18.30	18.93	18.52
28	15.41	19.63	14.91	13.86	16.44	15.84	17.91
29	19.33	16.70	18.31	13.60	16.50	15.63	17.57
30	21.22	18.60	18.61	15.25	16.54	17.31	16.39
31	18.93	15.52	17.47	15.10	18.37	17.45	20.30
32	18.44	14.99	18.79	15.33	17.57	19.39	20.25
33	16.00	16.55	15.22	17.30	15.57	18.27	18.47
34	16.80	17.62	14.70	16.23	19.04	19.27	18.14
35	20.69	15.22	13.92	16.03	15.94	19.67	18.69
36	19.78	15.62	12.14	15.17	16.10	17.98	18.22
37	17.40	14.94	17.74	10.78	15.45	15.86	18.67
38	20.67	15.51	13.87	13.30	14.04	15.32	16.52
39	16.56	10.83	11.79	17.82	16.16	18.76	18.24
40	16.90	18.18	15.14	17.92	16.65	17.18	17.58
$\overline{\Delta l}$	17.8	16.8	16.1	15.2	17.1	17.5	18.2
$\sigma$	1.96	2.15	2.21	1.81	1.23	1.30	1.39

Таблица 6. Числовые результаты тестирований (экспериментов) для исследования зависимости ошибки длины  $\overline{\Delta l}$  (в мм) от  $P$  (в мм) вертикального отрезка в иллюзии Вунда-Фика.

№ п.п.	$P_1$ – 25.0 мм	$P_2$ – 12.5 мм	$P_3$ 0.0 мм	$P_4$ 12.5 мм	$P_5$ 25.0 мм
1	7.89	9.68	17.94	12.74	7.10
2	9.26	10.61	14.46	10.72	8.37
3	10.87	11.03	12.10	12.65	9.72
4	10.72	11.33	12.39	13.17	6.17
5	10.86	13.05	14.80	12.98	6.89
6	12.41	9.99	15.68	13.11	8.07
7	10.17	9.69	11.94	10.83	4.30
8	12.30	14.14	13.92	12.46	9.13
9	8.78	11.06	16.59	11.46	8.07
10	8.50	11.49	12.63	11.95	7.16
11	11.45	8.32	19.15	13.92	8.29
12	3.90	15.01	19.50	9.80	8.39
13	7.63	7.99	14.00	14.94	10.89
14	9.50	13.01	12.67	11.07	7.97
15	5.44	15.36	12.20	10.47	8.40
16	13.07	13.31	15.35	11.72	5.77
17	9.30	14.67	15.40	12.20	6.98
18	8.74	13.88	13.35	13.35	7.45
19	8.75	8.82	12.78	12.42	7.44
20	13.31	8.81	19.38	12.17	7.17
21	8.90	12.60	17.77	11.34	5.97
22	9.00	11.15	10.39	11.17	7.01

<b>№ п.п.</b>	<b><math>P_1</math> – 25.0 мм</b>	<b><math>P_2</math> – 12.5 мм</b>	<b><math>P_3</math> 0.0 мм</b>	<b><math>P_4</math> 12.5 мм</b>	<b><math>P_5</math> 25.0 мм</b>
23	6.38	10.13	14.32	14.82	8.27
24	11.13	16.47	16.91	12.60	10.12
25	11.86	8.60	13.46	11.35	7.10
26	11.35	12.01	14.08	15.85	8.54
27	7.22	11.90	11.34	11.67	7.69
28	4.36	10.12	17.86	13.04	6.45
29	11.84	12.95	15.36	13.82	6.72
30	7.41	11.65	14.45	14.29	7.14
31	9.08	12.25	15.94	13.76	7.95
32	7.31	14.54	16.43	13.74	8.23
33	10.60	12.82	15.78	12.50	7.09
34	5.08	11.40	16.56	13.89	4.98
35	8.74	12.05	15.55	12.26	9.34
36	9.96	9.00	16.79	10.10	8.17
37	8.10	11.51	15.59	12.57	5.58
38	11.00	8.16	18.81	13.68	7.90
39	9.64	11.65	16.69	12.81	7.59
40	10.65	12.30	17.85	11.33	8.03
<b><math>\overline{\Delta l}</math></b>	<b>9.31</b>	<b>11.61</b>	<b>15.20</b>	<b>12.52</b>	<b>7.59</b>
<b><math>\sigma</math></b>	<b>2.29</b>	<b>2.12</b>	<b>2.34</b>	<b>1.36</b>	<b>1.31</b>

Таблица 7. Числовые результаты тестирований (экспериментов) для исследования зависимости ошибки смещения  $\overline{\Delta L}$  (в мм) от угла  $\varphi$  (в мм) поворота тест-объекта иллюзии Поггендорфа.

№ п.п.	$\varphi_1$ 0 (2 $\pi$ )	$\varphi_2$ $\pi/8$	$\varphi_3$ $\pi/4$	$\varphi_4$ $3\pi/8$	$\varphi_5$ $\pi/2$	$\varphi_6$ $5\pi/8$	$\varphi_7$ $3\pi/4$	$\varphi_8$ $7\pi/8$	$\varphi_9$ $\pi$	$\varphi_{10}$ $9\pi/8$	$\varphi_{11}$ $5\pi/4$	$\varphi_{12}$ $11\pi/8$	$\varphi_{13}$ $3\pi/2$	$\varphi_{14}$ $13\pi/8$	$\varphi_{15}$ $7\pi/4$	$\varphi_{16}$ $15\pi/8$
1	9.52	4.95	2.12	6.22	11.52	4.90	2.95	5.55	9.40	4.90	3.47	4.70	10.47	5.62	3.17	6.40
2	8.57	4.32	2.49	5.46	10.38	4.39	2.50	4.98	8.57	4.52	2.84	4.13	9.61	4.86	2.79	5.57
3	9.74	5.09	3.27	6.40	11.79	5.02	3.05	5.68	9.59	4.99	3.62	4.83	10.67	5.80	3.26	6.59
4	11.06	5.95	4.15	7.45	13.37	5.72	3.67	6.47	10.73	5.51	4.48	5.62	11.86	6.85	3.79	7.73
5	8.42	4.23	2.39	5.34	10.20	4.31	2.44	4.89	8.45	4.46	2.74	4.04	9.48	4.74	2.73	5.45
6	8.42	4.23	2.39	5.34	10.20	4.31	2.44	4.89	8.45	4.46	2.74	4.04	9.48	4.74	2.73	5.45
7	11.14	6.01	4.20	7.52	13.47	5.76	3.71	6.52	10.80	5.55	4.54	5.67	11.93	6.92	3.82	7.80
8	9.92	5.21	3.39	6.55	12.01	5.11	3.14	5.79	9.75	5.06	3.73	4.94	10.84	5.95	3.34	6.75
9	8.07	4.00	2.16	5.06	9.78	4.12	2.27	4.68	8.14	4.32	2.51	3.83	9.17	4.46	2.59	5.14
10	9.59	4.99	3.17	6.28	11.60	4.93	2.98	5.59	9.46	4.93	3.51	4.74	10.53	5.68	3.20	6.46
11	8.08	4.01	2.16	5.07	9.79	4.13	2.28	4.68	8.15	4.32	2.52	3.83	9.17	4.47	2.60	5.15
12	8.07	4.00	2.16	5.07	9.79	4.13	2.27	4.68	8.14	4.32	2.51	3.83	9.17	4.47	2.60	5.14
13	9.14	4.70	2.87	5.92	11.06	4.69	2.77	5.32	9.06	4.75	3.21	4.47	10.13	5.32	3.02	6.06
14	9.90	2.58	0.71	3.33	7.18	2.97	1.26	3.38	6.26	3.45	1.08	2.53	7.22	2.73	1.73	3.26
15	10.19	2.77	0.90	3.56	7.52	3.12	1.39	3.55	6.51	3.57	1.27	2.70	7.47	2.96	1.84	3.51
16	7.93	3.91	2.06	4.95	9.61	4.05	2.21	4.59	8.02	4.26	2.42	3.74	9.04	4.35	2.54	5.02
17	7.25	3.47	1.61	4.41	8.80	3.69	1.89	4.19	7.43	3.99	1.97	3.34	8.43	3.81	2.27	4.43
18	9.24	4.77	2.94	6.00	11.19	4.75	2.82	5.38	9.16	4.79	3.29	4.53	10.22	5.40	3.06	6.16
19	7.41	3.57	1.72	4.54	8.99	3.77	1.96	4.28	7.57	4.06	2.08	3.43	8.57	3.94	2.33	4.57
20	6.65	3.08	1.21	3.93	8.08	5.37	1.61	3.83	6.91	3.75	1.58	2.98	7.89	3.33	2.03	3.91
21	10.97	5.90	3.09	7.38	13.26	4.67	3.63	6.42	10.66	5.48	4.43	5.57	11.78	6.78	3.75	7.66
22	8.43	4.24	2.40	5.35	10.22	4.32	2.44	4.90	8.46	4.46	2.75	4.05	9.50	4.75	2.74	5.46
23	9.87	4.53	2.69	5.71	10.75	4.55	2.65	5.16	8.84	4.64	3.04	4.31	9.89	5.11	2.92	5.84
24	6.64	3.06	1.20	3.92	8.06	5.36	1.60	3.82	6.90	3.75	1.56	2.97	7.88	3.32	2.02	3.90
25	7.96	3.93	2.08	4.97	9.65	4.06	2.22	4.61	8.04	4.27	2.44	3.76	9.07	4.37	2.55	5.04
26	8.94	4.57	1.74	5.76	10.82	4.59	2.68	5.20	8.89	4.67	3.08	4.35	9.95	5.16	2.94	5.89
27	7.05	3.33	1.47	4.24	8.55	5.58	1.79	4.06	7.25	3.91	1.84	3.21	8.25	3.64	2.18	4.25
28	9.34	4.83	3.00	5.08	11.30	4.80	2.86	5.44	9.24	4.83	3.35	4.59	10.31	5.48	3.10	6.24
29	7.87	3.87	1.02	4.90	9.54	4.02	2.18	5.56	7.97	4.24	2.38	3.71	8.99	4.30	2.51	4.97

№ п.п.	$\varphi_1$ 0 (2π)	$\varphi_2$ π/8	$\varphi_3$ π/4	$\varphi_4$ 3π/8	$\varphi_5$ π/2	$\varphi_6$ 5π/8	$\varphi_7$ 3π/4	$\varphi_8$ 7π/8	$\varphi_9$ π	$\varphi_{10}$ 9π/8	$\varphi_{11}$ 5π/4	$\varphi_{12}$ 11π/8	$\varphi_{13}$ 3π/2	$\varphi_{14}$ 13π/8	$\varphi_{15}$ 7π/4	$\varphi_{16}$ 15π/8
30	8.34	4.17	1.33	5.60	10.10	4.27	2.40	4.84	8.37	4.42	2.69	3.99	9.41	4.67	2.70	5.37
31	9.87	3.87	2.02	4.90	9.54	4.02	2.18	5.56	7.97	4.24	2.38	3.71	8.99	4.30	2.51	4.97
32	11.55	6.28	4.48	6.85	13.96	5.98	4.90	6.77	11.16	5.71	4.81	4.92	12.30	7.25	3.99	8.16
33	8.75	4.45	2.61	5.61	10.60	4.49	2.59	5.09	8.73	4.59	2.96	4.24	9.78	5.01	2.87	5.73
34	7.19	3.42	1.57	4.36	8.72	3.65	1.86	4.15	7.67	3.97	1.93	3.30	8.37	3.76	2.24	4.37
35	10.01	5.27	3.45	6.61	12.11	7.16	3.18	6.84	9.82	5.09	3.79	4.99	10.91	6.01	3.37	6.82
36	6.94	3.26	1.40	4.16	8.90	3.52	1.75	4.00	7.16	3.87	1.77	3.15	8.15	3.56	2.14	4.16
37	10.09	4.66	2.83	3.88	11.00	4.67	2.99	5.29	9.02	4.73	3.18	4.11	10.08	5.28	3.00	6.02
38	5.83	2.54	0.67	3.27	7.55	2.93	2.23	3.34	6.20	3.99	1.03	2.49	7.15	2.27	1.70	3.20
39	6.78	3.16	1.20	3.03	8.23	3.44	1.67	4.90	8.02	4.43	1.46	2.05	8.01	3.55	2.45	4.99
40	9.07	4.65	1.82	5.86	10.98	4.66	2.74	5.28	9.01	4.72	3.17	4.43	10.07	5.11	2.99	6.22
$\overline{\Delta L}$	8.75	4.25	2.25	5.25	10.25	4.50	2.50	5.00	8.50	4.50	2.75	4.00	9.50	4.75	2.75	5.50
$\sigma$	1.39	0.93	0.95	1.15	1.68	0.85	0.72	0.89	1.21	0.54	0.95	0.86	1.29	1.16	0.56	1.22

Таблица 8. Числовые результаты тестирований (экспериментов) для исследования зависимости ошибки расстояния  $\overline{\Delta S}$  (в мм) от угла  $\varphi$  (в мм) поворота тест-объекта иллюзии Мюллера-Лайера.

№ п.п.	$\varphi_1$ 0 (2π)	$\varphi_2$ π/8	$\varphi_3$ π/4	$\varphi_4$ 3π/8	$\varphi_5$ π/2	$\varphi_6$ 5π/8	$\varphi_7$ 3π/4	$\varphi_8$ 7π/8	$\varphi_9$ π	$\varphi_{10}$ 9π/8	$\varphi_{11}$ 5π/4	$\varphi_{12}$ 11π/8	$\varphi_{13}$ 3π/2	$\varphi_{14}$ 13π/8	$\varphi_{15}$ 7π/4	$\varphi_{16}$ 15π/8
1	11.29	9.98	8.00	7.98	9.96	8.97	7.16	8.08	11.13	7.60	8.01	9.56	12.94	8.33	8.85	8.31
2	10.45	7.24	6.60	8.87	9.23	8.36	6.21	9.23	11.53	8.05	7.70	7.76	12.84	8.78	9.79	10.64
3	11.99	8.87	7.88	8.54	10.09	8.00	5.74	8.21	11.63	8.72	9.50	9.79	9.17	8.66	8.45	8.46
4	12.70	7.21	8.45	6.86	10.05	6.02	5.82	8.48	11.27	8.69	8.81	8.97	10.63	7.85	7.94	8.83
5	11.37	9.10	8.55	8.24	10.71	7.38	7.89	8.01	10.62	7.38	5.06	9.59	9.73	8.99	8.73	7.26
6	12.84	10.51	7.96	9.41	9.43	5.20	6.43	7.83	10.50	8.26	6.55	9.81	10.71	9.10	8.94	9.62
7	11.71	9.21	8.53	7.23	8.69	7.94	5.94	7.62	10.66	8.78	6.60	9.02	9.23	9.43	7.50	12.55
8	10.88	8.31	7.79	8.11	9.85	6.78	6.54	8.64	11.30	7.34	7.92	8.81	10.38	7.57	8.00	8.57
9	10.41	9.20	7.89	8.11	10.35	7.78	7.99	8.12	11.33	8.34	7.55	10.20	11.99	8.77	8.34	9.13
10	11.21	8.14	8.23	8.04	9.63	10.52	6.78	7.27	11.31	7.12	7.33	8.87	10.56	8.33	7.72	9.62
11	11.20	7.66	6.53	8.69	10.19	7.47	7.32	8.68	10.66	7.96	7.21	8.57	8.60	8.74	7.16	9.61

№ п.п.	$\varphi_1$ 0 ( $2\pi$ )	$\varphi_2$ $\pi/8$	$\varphi_3$ $\pi/4$	$\varphi_4$ $3\pi/8$	$\varphi_5$ $\pi/2$	$\varphi_6$ $5\pi/8$	$\varphi_7$ $3\pi/4$	$\varphi_8$ $7\pi/8$	$\varphi_9$ $\pi$	$\varphi_{10}$ $9\pi/8$	$\varphi_{11}$ $5\pi/4$	$\varphi_{12}$ $11\pi/8$	$\varphi_{13}$ $3\pi/2$	$\varphi_{14}$ $13\pi/8$	$\varphi_{15}$ $7\pi/4$	$\varphi_{16}$ $15\pi/8$
12	11.03	9.97	8.81	7.36	10.41	9.23	7.29	8.44	10.15	7.82	8.90	8.35	12.34	8.97	9.35	9.00
13	12.10	10.22	7.35	7.37	9.33	9.38	6.87	8.71	10.97	7.76	7.56	8.49	11.15	9.07	8.32	6.94
14	11.23	8.77	7.94	8.57	9.58	11.27	6.75	7.65	11.54	8.79	6.12	7.99	8.23	9.60	7.79	7.61
15	12.61	9.89	7.08	8.21	10.34	7.08	7.40	7.63	10.63	8.99	6.84	8.27	10.74	7.63	7.93	8.10
16	12.75	6.69	8.23	8.66	8.98	8.13	7.60	9.00	11.81	7.11	7.51	8.31	10.68	8.14	8.83	9.85
17	12.32	9.33	7.85	8.53	11.02	9.39	7.61	8.27	12.09	7.78	6.78	8.26	11.63	10.30	7.43	9.36
18	11.96	9.42	7.33	8.15	9.55	9.10	5.97	8.55	10.52	7.41	6.64	10.41	10.96	8.15	7.51	9.26
19	10.83	8.69	8.31	7.56	9.70	7.90	7.85	8.78	11.04	5.06	7.41	8.01	11.27	8.81	7.74	9.32
20	10.79	9.60	8.08	8.55	10.42	8.62	6.41	8.65	10.51	7.77	6.89	9.03	10.90	8.83	6.80	7.96
21	10.88	9.10	7.86	7.47	9.34	9.07	7.84	8.87	10.83	8.54	4.59	9.26	11.14	8.96	8.24	10.07
22	11.25	8.53	8.89	8.22	9.55	8.19	7.62	8.01	11.02	8.06	7.86	8.98	10.98	10.03	4.69	9.58
23	12.01	9.21	8.19	7.86	9.89	4.56	8.47	8.32	10.63	5.14	6.08	8.26	10.82	8.32	8.55	10.11
24	10.06	9.54	8.70	8.58	9.60	8.75	6.01	8.18	11.47	6.77	8.42	8.31	11.78	8.77	8.94	9.37
25	12.17	9.82	7.52	8.59	9.97	7.28	7.69	8.05	10.83	7.98	6.20	8.23	11.87	9.51	6.12	10.03
26	11.81	9.27	7.70	8.41	10.36	10.29	6.42	8.38	11.58	8.35	8.16	9.13	9.48	9.58	7.01	8.75
27	10.16	9.89	7.67	7.26	10.00	10.42	6.64	12.02	10.65	8.83	6.24	9.29	10.15	9.16	6.63	8.62
28	11.40	10.15	7.60	10.10	11.12	7.47	6.05	8.06	10.39	7.05	8.07	9.93	9.03	8.97	7.21	10.10
29	10.79	8.81	8.06	7.13	10.96	6.78	7.89	8.70	11.17	6.26	8.11	8.89	11.18	8.30	8.53	8.12
30	11.14	9.27	8.92	7.65	9.94	8.79	6.95	7.72	10.36	7.84	6.69	10.10	12.29	9.39	9.24	8.20
31	10.68	8.61	8.33	7.76	12.30	8.06	6.72	8.53	11.63	8.01	6.20	8.37	10.99	8.59	9.32	7.09
32	12.32	9.47	7.91	8.40	9.44	7.80	5.29	8.79	11.24	8.62	8.10	10.52	12.39	8.99	7.55	7.83
33	10.28	10.70	7.88	9.08	9.73	9.47	7.17	7.66	11.53	8.32	6.80	9.24	11.63	8.15	8.09	9.27
34	10.67	8.36	9.00	6.88	11.72	9.18	6.95	8.67	11.63	9.06	9.79	8.78	9.29	8.95	9.59	11.84
35	9.91	9.43	7.96	8.22	9.37	6.35	6.99	7.07	11.41	6.30	7.07	9.66	10.08	9.46	8.71	9.65
36	12.15	10.09	7.78	7.89	10.47	7.27	7.67	8.09	11.33	7.99	5.43	9.09	12.09	8.66	8.16	9.21
37	11.91	11.68	8.58	6.64	10.58	8.01	6.27	9.60	11.76	9.05	7.65	9.67	10.62	7.44	8.30	12.54
38	11.08	9.01	7.55	9.39	10.86	7.31	7.21	8.61	11.65	9.12	6.29	9.29	13.49	7.85	7.49	8.25
39	10.26	9.28	7.82	7.24	10.32	6.61	7.16	7.25	11.07	7.17	6.56	9.33	9.69	8.10	7.91	10.81
40	10.80	9.46	7.92	7.14	10.13	6.61	6.97	9.18	10.03	9.17	7.44	9.05	10.60	10.42	9.02	8.72
41	10.34	6.93	8.35	8.74	8.71	9.00	7.78	8.88	11.92	7.03	5.75	8.16	11.81	9.47	9.19	9.81

№ п.п.	$\varphi_1$ 0 (2π)	$\varphi_2$ π/8	$\varphi_3$ π/4	$\varphi_4$ 3π/8	$\varphi_5$ π/2	$\varphi_6$ 5π/8	$\varphi_7$ 3π/4	$\varphi_8$ 7π/8	$\varphi_9$ π	$\varphi_{10}$ 9π/8	$\varphi_{11}$ 5π/4	$\varphi_{12}$ 11π/8	$\varphi_{13}$ 3π/2	$\varphi_{14}$ 13π/8	$\varphi_{15}$ 7π/4	$\varphi_{16}$ 15π/8
42	9.21	8.12	7.35	8.83	10.86	7.79	6.34	8.34	11.06	7.42	9.07	8.19	10.47	8.96	8.21	8.89
43	11.37	8.57	8.99	9.76	9.41	9.88	7.33	9.13	11.03	7.43	8.20	9.09	11.49	9.08	7.47	10.06
44	9.56	8.90	7.75	7.64	10.88	7.85	7.51	7.71	11.83	7.48	5.95	8.20	9.86	8.69	9.37	9.16
45	9.93	9.62	7.91	7.12	11.25	7.99	7.89	8.89	10.95	8.11	6.61	9.32	12.63	8.87	8.14	8.11
$\overline{\Delta S}$	11.20	9.11	7.99	8.11	10.10	8.12	6.99	8.41	11.12	7.82	7.20	8.99	10.90	8.82	8.11	9.20
$\sigma$	0.89	0.99	0.56	0.79	0.76	1.37	0.73	0.79	0.50	0.94	1.13	0.70	1.20	0.67	0.98	1.23

Таблица 9. Числовые результаты тестирований (экспериментов) для исследования зависимости ошибки длины  $\overline{\Delta l}$  (в мм) от угла  $\varphi$  (в мм) поворота тест-объекта иллюзии Вунда-Фика.

№ п.п.	$\varphi_1$ 0 (2π)	$\varphi_2$ π/8	$\varphi_3$ π/4	$\varphi_4$ 3π/8	$\varphi_5$ π/2	$\varphi_6$ 5π/8	$\varphi_7$ 3π/4	$\varphi_8$ 7π/8	$\varphi_9$ π	$\varphi_{10}$ 9π/8	$\varphi_{11}$ 5π/4	$\varphi_{12}$ 11π/8	$\varphi_{13}$ 3π/2	$\varphi_{14}$ 13π/8	$\varphi_{15}$ 7π/4	$\varphi_{16}$ 15π/8
1	12.91	14.49	15.55	13.32	14.73	12.52	13.61	13.76	14.54	13.38	15.03	16.34	15.05	12.63	13.59	15.33
2	14.57	11.82	14.41	14.35	15.00	12.85	14.22	12.88	16.34	15.86	14.32	16.10	16.00	12.29	12.94	15.21
3	13.97	12.01	13.29	15.04	15.37	13.57	14.49	15.47	14.98	11.99	12.92	17.31	14.68	12.71	14.77	14.10
4	15.35	11.79	14.51	15.91	15.51	13.96	14.19	18.82	14.24	12.25	13.67	13.85	16.20	13.61	14.00	14.34
5	14.44	14.21	14.35	14.46	15.32	13.74	14.14	14.90	16.63	12.90	13.54	16.72	14.58	12.74	14.84	14.51
6	15.39	12.66	14.26	15.37	14.89	13.14	14.88	13.29	16.66	12.68	12.83	14.33	13.66	13.06	13.70	14.26
7	15.50	12.85	13.93	14.46	15.22	13.00	14.42	13.03	14.39	13.58	13.28	17.11	16.66	13.95	13.41	14.75
8	15.87	15.51	15.61	14.91	14.77	13.42	13.32	15.19	14.25	13.41	13.62	15.27	13.79	12.74	14.36	15.39
9	16.24	16.64	14.22	14.69	14.08	13.76	15.72	13.39	15.84	14.08	13.82	16.11	15.12	12.15	14.69	15.58
10	14.30	12.18	13.29	15.70	15.81	13.27	14.52	13.39	15.35	11.14	13.30	17.01	14.60	13.83	14.35	16.52
11	13.92	13.15	13.48	15.92	15.03	12.91	16.93	15.45	14.73	13.58	14.24	15.33	13.74	12.64	14.46	14.12
12	16.58	13.51	13.66	16.00	15.03	13.56	14.59	13.27	16.64	13.73	13.39	16.22	15.22	13.01	14.57	15.66
13	16.21	14.54	14.87	15.08	14.26	12.04	11.09	11.40	15.16	12.09	12.77	16.29	14.38	13.05	13.40	14.10
14	15.21	13.95	13.13	17.38	16.18	13.87	14.46	14.52	15.66	13.89	13.37	15.19	12.81	12.46	15.09	14.48
15	15.37	11.01	15.70	16.22	15.24	14.06	13.27	16.86	14.44	12.24	13.58	18.37	14.88	12.35	13.13	14.63
16	14.01	15.29	16.13	14.77	14.70	13.04	14.30	17.02	16.15	12.47	13.73	16.69	15.78	11.68	14.84	14.29
17	15.67	13.30	15.11	14.79	14.69	13.13	11.49	13.91	14.55	12.30	14.19	17.12	15.35	13.39	13.57	13.28

№ п.п.	$\varphi_1$ 0 ( $2\pi$ )	$\varphi_2$ $\pi/8$	$\varphi_3$ $\pi/4$	$\varphi_4$ $3\pi/8$	$\varphi_5$ $\pi/2$	$\varphi_6$ $5\pi/8$	$\varphi_7$ $3\pi/4$	$\varphi_8$ $7\pi/8$	$\varphi_9$ $\pi$	$\varphi_{10}$ $9\pi/8$	$\varphi_{11}$ $5\pi/4$	$\varphi_{12}$ $11\pi/8$	$\varphi_{13}$ $3\pi/2$	$\varphi_{14}$ $13\pi/8$	$\varphi_{15}$ $7\pi/4$	$\varphi_{16}$ $15\pi/8$
18	14.51	10.78	13.19	14.20	15.74	13.99	13.76	13.98	15.47	12.71	14.18	15.08	16.50	12.82	14.56	14.52
19	16.70	14.64	12.52	14.44	15.77	12.23	14.43	15.35	14.47	12.69	12.62	18.23	14.51	13.55	14.40	15.60
20	15.27	13.96	15.61	16.10	14.69	12.57	14.75	13.89	16.83	12.36	13.70	14.86	14.84	13.87	14.50	15.03
21	13.89	12.06	14.20	15.38	15.04	13.63	11.26	14.57	17.57	13.16	13.48	18.35	16.40	14.25	13.92	15.35
22	15.76	12.99	13.03	15.97	13.84	11.78	14.20	15.23	16.21	13.54	14.47	16.76	14.73	13.94	13.80	14.35
23	15.39	13.08	14.92	15.19	13.43	12.42	13.94	14.43	15.10	13.04	14.49	16.23	14.51	11.88	13.08	15.06
24	16.39	12.08	14.25	15.15	16.31	13.07	15.86	15.72	16.40	13.87	13.79	14.40	14.56	14.02	14.57	14.41
25	13.65	15.16	15.63	14.76	15.13	11.61	13.73	16.21	12.22	11.08	13.69	16.11	14.55	11.84	13.99	14.12
26	13.89	13.03	14.51	13.76	15.31	13.48	13.84	13.13	14.20	12.19	13.45	14.68	14.65	12.00	13.86	13.74
27	15.01	13.26	15.20	16.15	15.55	13.60	15.59	15.24	14.63	11.30	14.93	15.37	14.12	12.48	14.56	14.30
28	15.91	11.88	14.69	16.48	13.43	12.20	11.50	14.26	15.15	11.49	13.36	14.74	14.46	13.14	14.59	15.40
29	14.37	13.20	17.35	15.95	14.72	14.01	13.79	13.64	16.65	11.21	12.71	17.09	14.93	13.08	13.75	14.54
30	14.58	12.68	14.12	14.04	14.65	11.40	13.67	15.00	15.11	12.97	13.84	14.81	14.23	13.87	14.13	16.06
31	15.88	12.17	13.95	13.86	15.18	11.24	13.75	14.11	11.61	13.61	13.11	16.17	18.38	11.88	13.01	14.43
32	15.74	11.70	15.49	14.15	16.56	11.87	15.70	14.72	15.29	13.26	14.52	15.64	15.04	12.58	14.22	14.49
33	15.55	14.60	12.04	15.27	14.83	13.61	13.86	15.16	14.10	10.16	14.25	14.64	12.93	13.00	13.50	15.25
34	15.18	12.00	14.93	15.07	15.36	12.44	10.78	15.15	16.50	10.80	13.88	15.13	15.40	14.24	13.45	15.11
35	14.81	14.32	16.09	12.44	14.73	12.65	14.53	15.10	16.64	13.85	12.85	16.19	13.58	12.64	14.10	15.26
36	13.15	13.44	17.66	14.69	15.03	14.14	15.33	14.78	15.66	12.20	13.11	13.43	17.26	13.12	14.06	14.30
37	17.23	13.91	13.92	14.76	15.69	12.63	13.47	11.53	14.20	13.41	14.98	14.68	13.02	12.81	13.24	14.10
38	14.00	14.29	14.42	16.40	13.82	13.35	14.29	14.48	15.03	12.10	13.78	14.23	15.88	14.45	14.44	14.10
39	17.25	10.70	16.21	12.14	13.67	13.21	13.35	14.76	15.10	12.41	13.90	16.52	15.94	12.07	13.11	14.65
40	14.45	13.08	14.63	11.30	15.53	13.06	14.93	13.14	13.14	13.14	13.14	13.14	13.14	13.87	13.14	13.14
$\overline{\Delta l}$	15.10	13.20	14.60	14.90	15.00	13.00	14.00	14.50	15.20	12.70	13.70	15.80	14.90	12.99	13.99	14.70
$\sigma$	1.06	1.35	1.20	1.21	0.73	0.78	1.32	1.39	1.24	1.08	0.63	1.29	1.19	0.76	0.60	0.71



ПРИЛОЖЕНИЕ Б. СВИДЕТЕЛЬСТВА О ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

**№ 2786961**

**Система для тестирования зрительного восприятия в  
условиях возникновения иллюзий**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
"Российский государственный университет им. А.Н.  
Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)" (RU)*

Авторы: *Горшков Владимир Владимирович (RU), Костоев  
Адам Тимурович (RU)*

Заявка № 2021120473

Приоритет изобретения 12 июля 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 26 декабря 2022 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 12 июля 2041 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2799736

**Способ и система для принятия решения о готовности компьютеров локальной вычислительной сети к работе**

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)" (RU)*

Авторы: *Горшков Владимир Владимирович (RU), Ниязова Барнонисо Наимджоновна (RU), Костоев Адам Тимурович (RU), Узурлуев Эльдар Абдулхалыгович (RU)*

Заявка № 2021114250

Приоритет изобретения 20 мая 2021 г.

Дата государственной регистрации  
в Государственном реестре изобретений  
Российской Федерации 11 июля 2023 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 20 мая 2041 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 208910

### Устройство для определения величины зрительных иллюзий

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)" (RU)*

Авторы: *Горшков Владимир Владимирович (RU), Костоев Адам Тимурович (RU)*

Заявка № 2021120474

Приоритет полезной модели 12 июля 2021 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 21 января 2022 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 12 июля 2031 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Изrael



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022683021

**Программа для тестирования зрительной иллюзии  
пересечения (иллюзии Поггендорфа)**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный университет им. А.Н.  
Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (RU)*

Авторы: *Костоев Адам Тимурович (RU), Николаева  
Елизавета Алексеевна (RU)*

Заявка № 2022682321

Дата поступления 21 ноября 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 30 ноября 2022 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



# СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022683022

**Программа для тестирования зрительной иллюзии  
Мюллера-Лайера**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный университет им. А.Н.  
Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (RU)*

Авторы: *Костоев Адам Тимурович (RU), Николаева  
Елизавета Алексеевна (RU)*

Заявка № 2022682317

Дата поступления **21 ноября 2022 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **30 ноября 2022 г.**



*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

*Ю.С. Зубов*



# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022683023

### Программа для тестирования вертикально-горизонтальной иллюзии

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» (RU)*

Авторы: *Костоев Адам Тимурович (RU), Николаева Елизавета Алексеевна (RU)*

Заявка № 2022682316

Дата поступления 21 ноября 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 30 ноября 2022 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов