

# АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ВОСПРИЯТИЯ СЛОЖНЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С РАЗЛИЧНЫМ НАБОРОМ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

## ANALYSIS OF THE PERCEPTION QUALITY OF COMPLEX GRAPHICAL IMAGES WITH VARIOUS SETS OF CHARACTERISTIC PARAMETERS

**A. Savelyev  
E. Zhidkov**

*Summary.* The article investigates the quality of human perception of complex graphical images, encompassing both dynamic control objects and static elements that vary in contrast, detail, and size. The study employs an eye-tracking toolkit to collect data on user gaze behavior during interaction with such images, enabling the analysis of visual strategies and perceptual characteristics. Particular attention is given to the influence of characteristic parameters — color saturation, contrast level, and object scale — on the sequence, duration, and accuracy of their recognition. The obtained data reveal patterns of user attention and provide insights into how different visual properties affect cognitive information processing. The results of applying the eye tracker in this research hold practical value for optimizing user interface design, enhancing data visualization, and developing adaptive graphical systems.

*Keywords:* vision, gaze, tracking, interpolation, Python, scatter plot, heatmap.

**Савельев Алексей Александрович**

Московский государственный  
технический университет им. Н.Э. Баумана  
savelevvaa@mail.ru

**Жидков Егор Ильич**

Московский государственный  
технический университет им. Н.Э. Баумана  
e.jidkov@gmail.com

*Аннотация.* Статья посвящена исследованию качества восприятия человеком сложных графических изображений, включающих как динамические объекты управления, так и статичные элементы, различающиеся по контрастности, детализации и размеру. В работе применяется инструментальный трекер глаз для сбора данных взгляда пользователя при взаимодействии с такими изображениями, что позволяет проанализировать визуальные стратегии и особенности восприятия. Особое внимание уделено влиянию характеристических параметров — цветовой насыщенности, уровня контрастности и масштаба объектов — на последовательность, продолжительность и точность их распознавания. Полученные данные раскрывают закономерности внимания пользователя и дают представление о том, как различные визуальные свойства влияют на когнитивную обработку информации. Результаты применения трекера для исследования имеют практическую ценность для оптимизации дизайна пользовательских интерфейсов, улучшения визуализации данных и разработки адаптивных графических систем.

*Ключевые слова:* зрение, взгляд, отслеживание, интерполяция, python, диаграмма рассеивания, тепловая карта.

### Введение

Современные системы визуализации данных и графические интерфейсы, применяемые в таких областях, как промышленность, медицина, транспорт и другие; и требуют высокой эффективности в передаче информации пользователю. Успешность этих систем определяется не только качеством отображения данных, но и тем, насколько точно они учитывают особенности человеческого восприятия сложных графических изображений. Такие изображения, включающие динамические объекты управления и статичные элементы с различной контрастностью, детализацией и цветовым оформлением, играют ключевую роль в интерактивных средах, где важно быстрое и точное распознавание визуальной информации.

Хотя анализ восприятия графических объектов традиционно предполагает наличие надёжных инстру-

ментов для регистрации визуального взаимодействия, разработка и тестирование таких инструментов остаются актуальными задачами. Динамические объекты управления и статичные элементы с варьирующимися характеристиками требуют детального изучения их восприятия, включая влияние контрастности, цветовой насыщенности и размера на внимание пользователя. Однако для проведения подобных исследований необходимы инструменты, способные корректно собирать и визуализировать данные о поведении взгляда.

Настоящее исследование сосредоточено на оценке применимости самописного трекера глаз для анализа процессов визуального восприятия [1] сложных графических изображений с различным набором характеристических параметров. Основная цель работы — изучить, способен ли разработанный трекер эффективно регистрировать данные о визуальном взаимодействии пользователя с различными графическим элементами,

а также отображать их в виде разных инфографик, пригодных для анализа восприятия. В рамках исследования проверяется точность сбора данных о последовательности, продолжительности и распределении внимания, что позволяет оценить потенциал трекера как инструмента для изучения когнитивных процессов и оптимизации визуальных систем, таких как пользовательские интерфейсы и средства визуализации данных.

### Используемый инструментарий

В исследовании используется самописный трекер взгляда [2] пользователя и различные модули визуализации

полученных данных взгляда. Общий алгоритм работы системы представлен на рисунке 1. Изображение пользователя получается через веб-камеру компьютера. Производится анализ лица и разметка зрачков, и на основании изменения положения глаз, относительно их калибровочных положений, осуществляется расчёт области взгляда на экране.

Данные, которые регистрируются системой, представлены на рисунке 2. Светло-серые окружности — зоны взгляда пользователя, которые были рассчитаны во время тестирования. Серые окружности — зоны фиксации взгляда. Они рассчитываются отдельным алгорит-

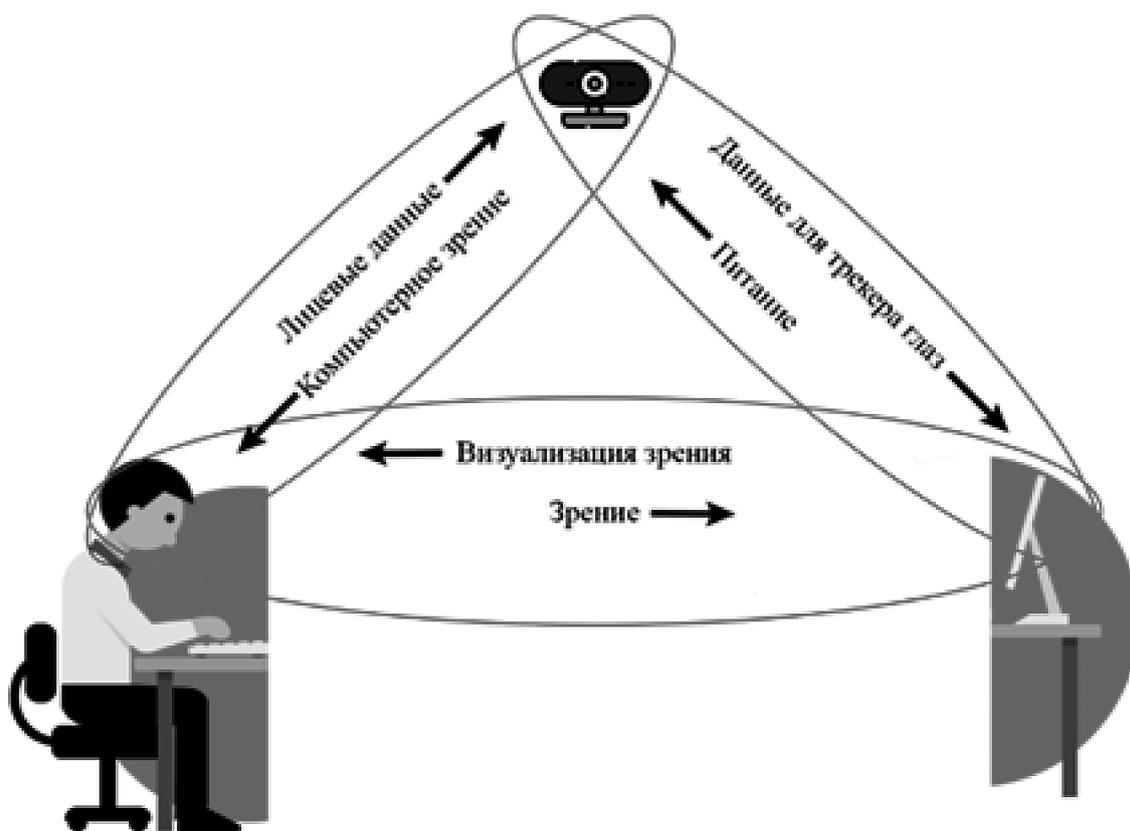


Рис. 1. Общий алгоритм работы системы

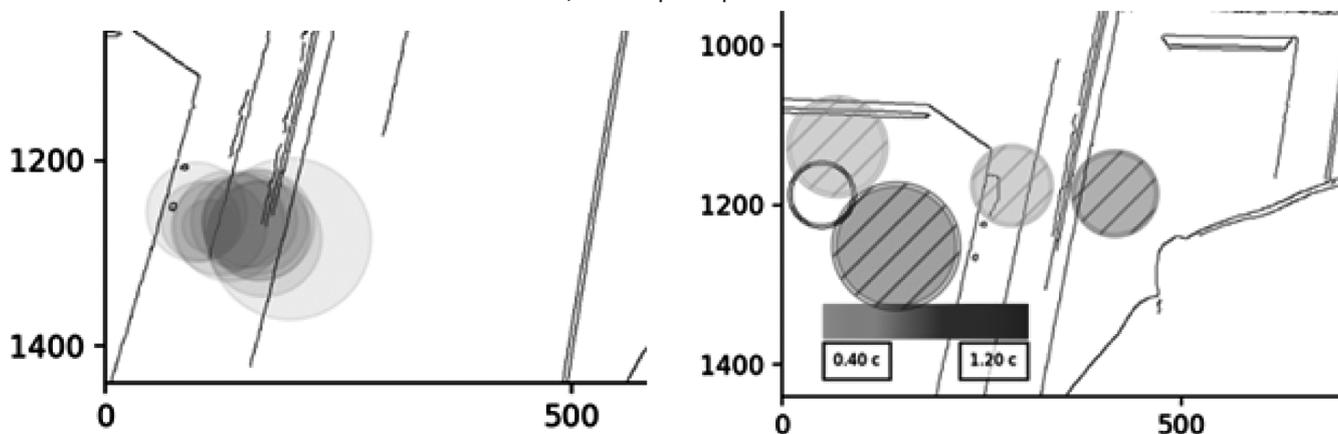


Рис. 2. Данные, регистрируемые системой

мом и позволяют получить информацию о временной составляющей взгляда.

Этапы работы системы можно представить последовательно следующим образом:

- 1) Калибровка;
- 2) Получение данных со средства видеозаписи;
- 3) Определение глаз человека;
- 4) Сбор координат зрения;
- 5) Получение соотношения координат зрения с объектом интереса;
- 6) Визуализация данных, полученных в результате соотношения.

**Алгоритм регистрации фиксаций взгляда**

Фиксация — это состояние, когда взгляд стабильно удерживается в одной области экрана, в отличие от быстрого перемещения взгляда, называемого саккадой.

В реализации алгоритма определены два ключевых пороговых значения. Первое — время фиксации взгляда. У человека оно варьируется в диапазоне от 100 до 600 мс. Для реализации данного функционала пороговое значение для регистрации фиксации было выбрано 300 мс, как середина диапазона.

Второе ключевое пороговое значение для фиксации — это максимальный радиус области фиксации. Оно установлено как 150 пикселей — это примерно 1.5 раз-

мера от фовеального зрения (1 градуса области зрения) [3], которое мы вычислили как 101 пикселей для экрана 13 дюймов с разрешением 2560 на 1440 пикселей при удалении глаз на 65 сантиметров. Расчет представлен уравнениями 1.

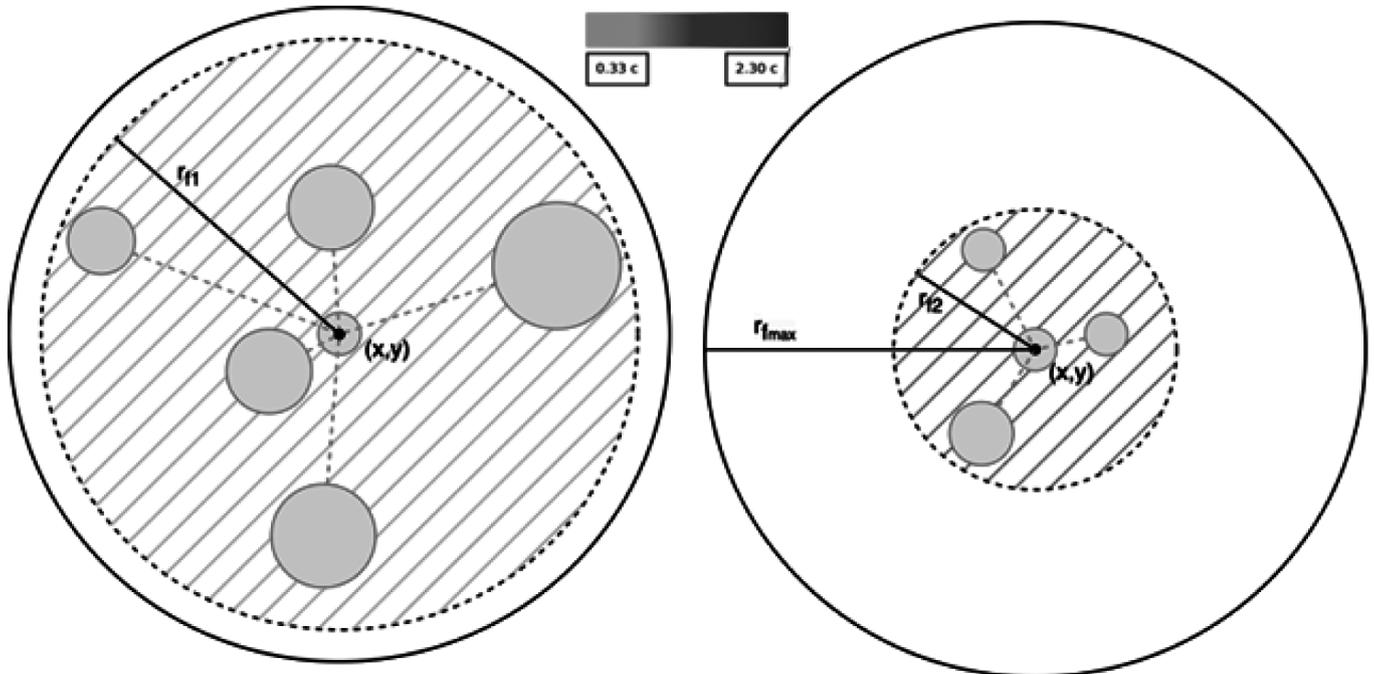
$$d = 89,35 \text{ px / см}, l = 2 \times 65 \times \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = 1,135 \text{ см}$$

$$R = 89,35 \times 1,135 = 101,4 \text{ px} \tag{1}$$

где  $d$  — плотность пикселей на сантиметр экрана,  $l$  — длина участка фовеального зрения ( $\theta = 1^\circ$ ),  $R$  — радиус области фиксации взгляда.

Выбор порога в 1.5 размера фовеального зрения объясняется необходимостью учета небольших движений головы и глаз пользователя, которые могут происходить, пока он сфокусирован на одном объекте. Фиксация не обязательно строго ограничена областью в  $1^\circ$ , поскольку даже при удержании взгляда на определенной точке могут происходить малые перемещения взгляда внутри области. Это своего рода «зона допуска», позволяющая считать фиксацией удержание взгляда на области.

На рисунке 3 представлен пример расчета фиксации взгляда. В случае, если фиксация взгляда перешагнула за пороговое значение времени, мы начинаем отслеживание фиксации, отслеживания как именно взгляд вел себя. Чем больше разброс точек взгляда внутри фикса-



$$(x, y) = (x, y)_1 \quad r_{f_i} = \max(r_{f_i}, \text{spread} / 2) \quad \text{spread} = \sqrt{\text{std}(X)^2 + \text{std}(Y)^2}$$

Рис. 3. Расчет фиксации взгляда

ции, тем больше будет ее окружность в последующем на визуализации. Чем дольше длилась фиксация по времени, тем более темнее будет ее синий цвет.

### Исследуемые объекты управления

В рамках данного исследования тестировать будут два вида объектов управления. В качестве динамического объекта управления будет приходиться движущаяся по экрану цель — окружность, а пользователю будет предложено следить взглядом за ней (рисунок 4).

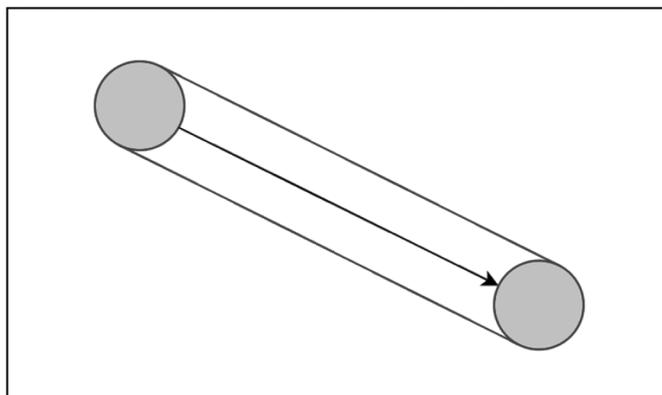


Рис. 4. Схема перемещения динамической цели по экрану

При этом будут собираться следующие метрики качества, для оценки точности отслеживания взгляда:

**Точность (Accuracy)** — эта метрика показывает долю попаданий рассчитанной области взгляда по движущейся цели (уравнение 2).

$$Accuracy = \frac{\text{hits}}{\text{total}} \times 100 \quad (2)$$

**Среднеквадратичная квадратичная ошибка (RMSE)** — эта метрика показывает степень отклонения взгляда от центра целей, что помогает выявить систематические ошибки в отслеживании (уравнение 3).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - X_{\text{цели}})^2 + (Y_i - Y_{\text{цели}})^2} \quad (3)$$

**Средняя дистанция до целей (mean\_d)** — это значение указывает, насколько в среднем взгляд пользователя близок к цели (уравнение 4).

$$\text{mean\_d} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i.$$

Второй категорией объектов управления будут ОУ с различной цветностью и контрастностью (рисунок 5).

Изображения с объектами каждый раз генерируются заново, случайно выбирая сетку расположения объектов, их размер и цвета. Во время тестирования пользователю показывается серия из трех сгенерированных изображений, каждое из которых остается на экране в течении 10 секунд. По записанным данным взгляда будет строиться диаграмма рассеивания и тепловая карта для их анализа.

В рамках данного исследования пользователю также будет предложено рассмотреть изображения летящего самолета, при этом на разных изображениях самолет имеет разный размер. Примеры изображений представлены на рисунке 6.

Все изображения показываются пользователю последовательно, первые три по 5 секунд, а последнее, где множество объектов разного размера — 10 секунд. Системой отслеживания взгляда ведется запись координат области взгляда и регистрация фиксаций.

### Результаты тестирования

На рисунке 7 приведены две диаграммы рассеивания [4] для записанных данных взгляда при просмотре движущейся цели по экрану.

На рисунке 8 приведены две тепловые карты [5] для динамического ОУ, построенные по тем же данным.

При отслеживании взгляда, следящего за динамическим объектом, трекер показал достаточно высокую точность (~80 %) и небольшую среднеквадратичную ошибку (~10). Также системой были зарегистрированы небольшие фиксации взгляда во время слежения, вероятно потому, что цель выводится без заливки (только граница окружности), и пользователю не к чему было привязаться взглядом.

Тем не менее, по тепловой карте видно, что пользователь перемещал взгляд равномерно.

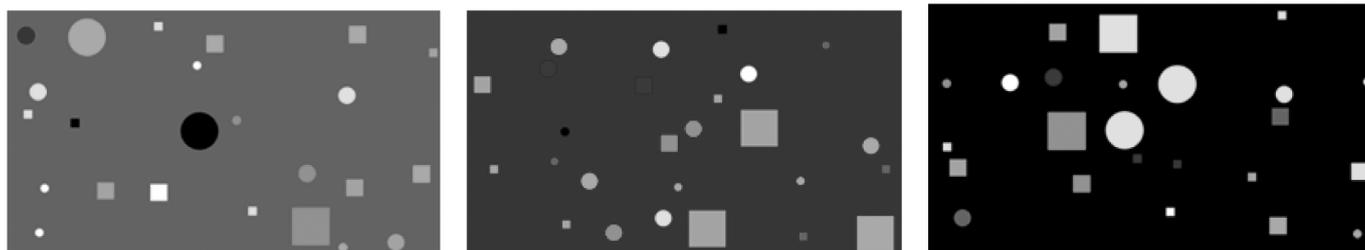


Рис. 5. Сгенерированные разноцветные объекты управления

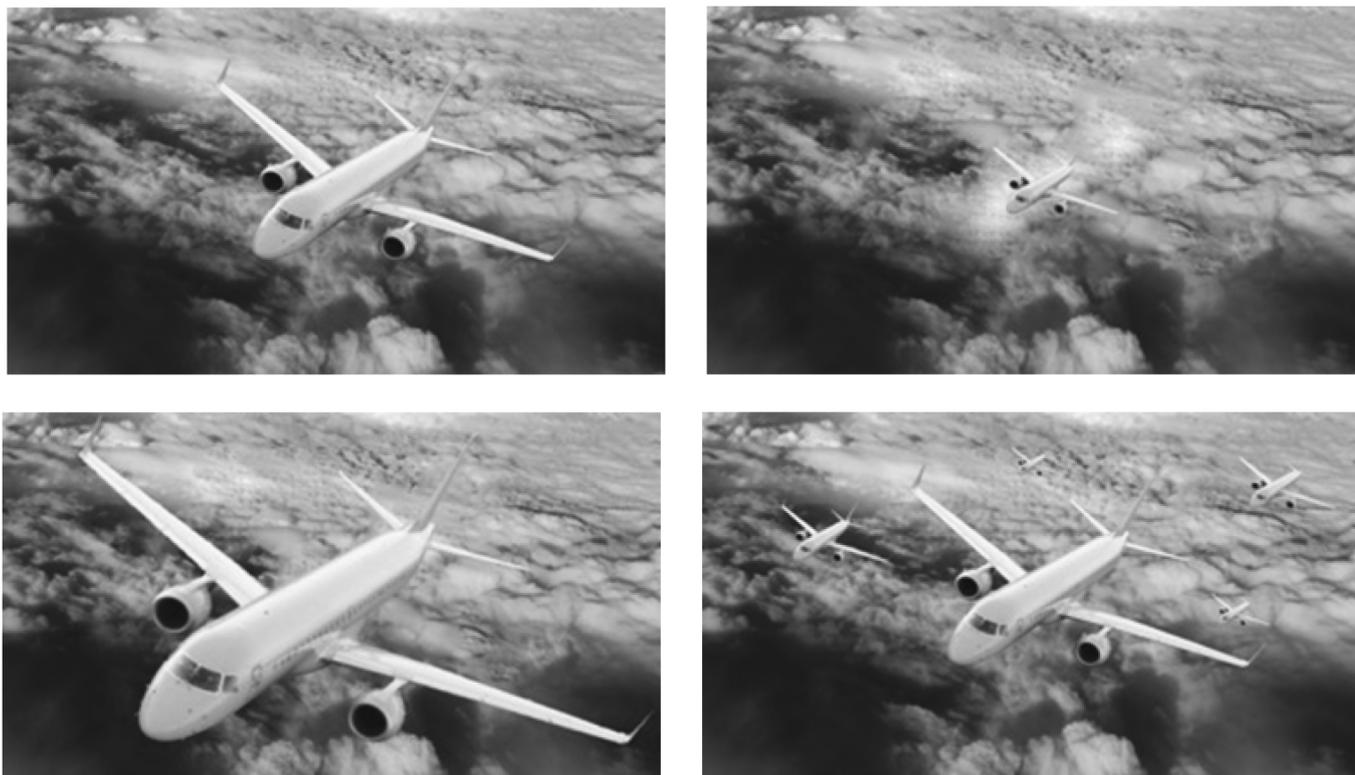


Рис. 6. Исследуемые объекты

На рисунке 9 представлены результаты просмотра пользователем сгенерированных картинок: диаграммы разбросы и тепловые карты взгляда. Изображения были сгенерированы со случайным набором цветовых сочетаний и вариативным размером изображенных на фоне объектов.

По полученным данным можно сказать следующее:

1. При начале показа очередного изображения, реакция взгляда пользователя составляет ~1 секунду.
2. Первым объектом, на который пользователь обращает внимание, является более контрастный, и чем от больше при этом, тем более контрастным его видит пользователь периферическим зрением.
3. Дальнейшая последовательность переключения взгляда пользователя так же зависит от контрастности очередного ОУ.
4. После обхода всех больших и контрастных объектов, за оставшееся время осматриваются остальные, малоконтрастные объекты.
5. По тепловым картам можно заключить, что на больших и высококонтрастных объектах пользователь задерживает взгляд дольше, чем на остальных.

Далее приведены результаты испытаний трекара и пользователя с объектом с высокой детализацией и варьируемым размером.

На рисунке 10 представлены результаты показа первого изображения самолета пользователю. На нем объект изображен в настоящем масштабе.

За отведенное время пользователь смотрел на остекление кабины пилотов, после чего переключил взгляд на конец фюзеляжа. На рисунке 11 представлены результаты показа изображения с уменьшенным в два раза объектом.

В данном случае видно, что пользователь практически не перемещал свой взгляд, а изучал представленный объект в общем. Интерес пользователя полностью сконцентрирован на объекте, что видно не только по диаграмме рассеивания, но и по тепловой карте.

В отношении изображения с объектом, увеличенным в полтора раза и содержащим больше различных деталей (рисунок 12) пользователь был более любопытен.

Трекер взгляда зафиксировал, как взгляд пользователя с центра самолета переместился на нос, потом поочередно на каждый из двигателей, после чего направился в сторону хвостового оперения. На носу самолета и на каждом из двигателей системой зарегистрированы фиксации взгляда (~0,5 с).

На рисунке 13 представлена визуализация поведения взгляда пользователя на появление изображения с множеством одинаковых объектов разного размера.

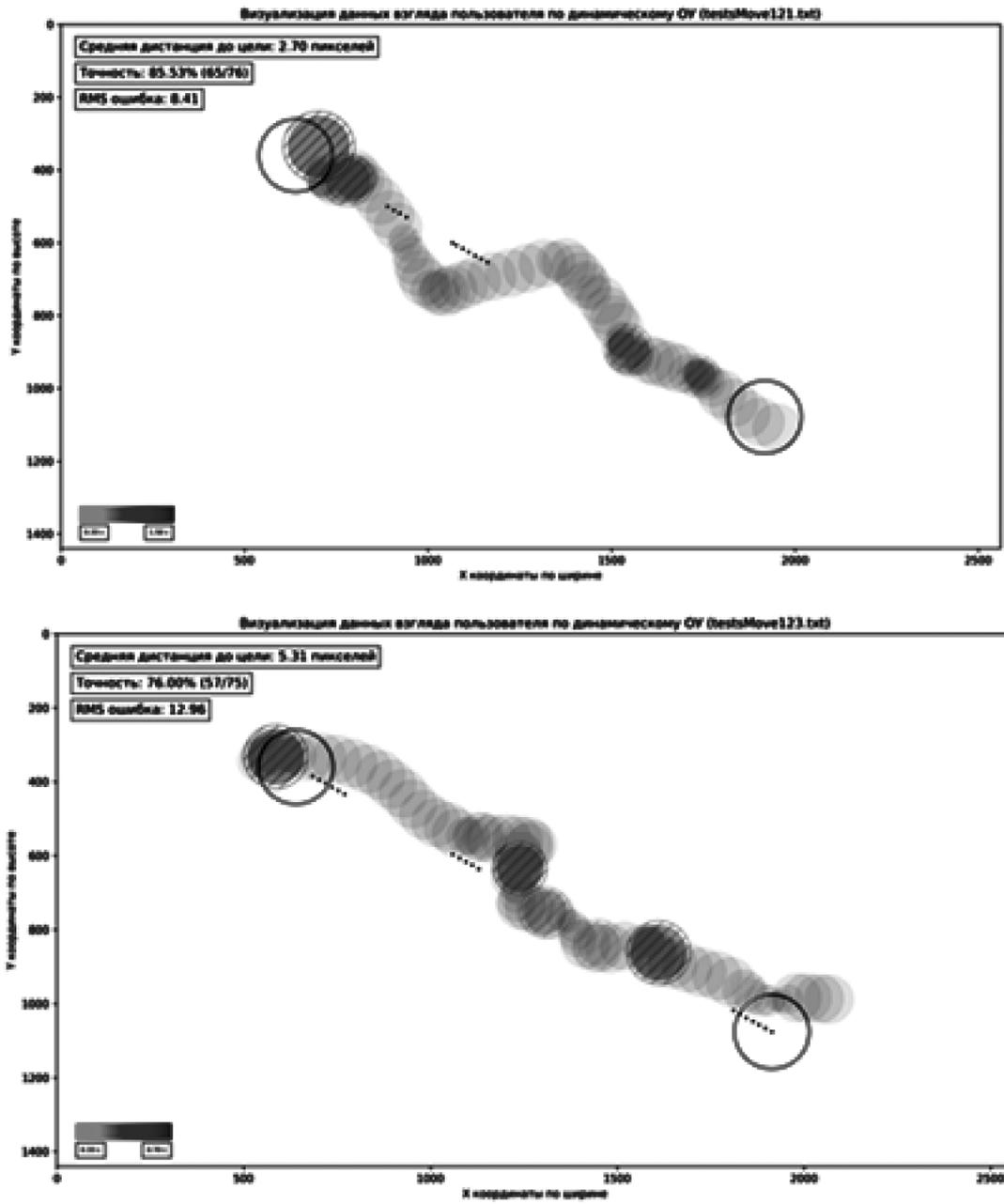


Рис. 7. Диаграммы рассеивания для динамического объекта управления

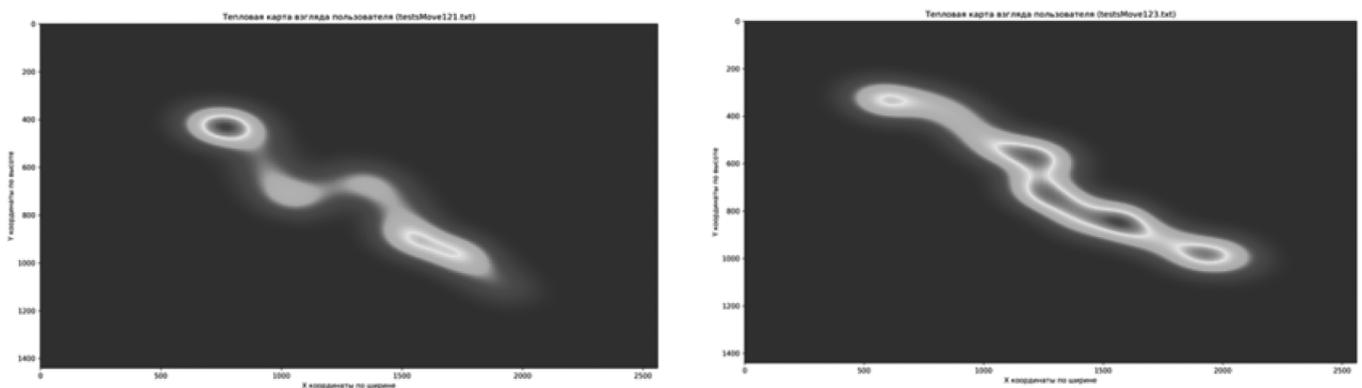


Рис. 8. Тепловые карты для динамического объекта управления

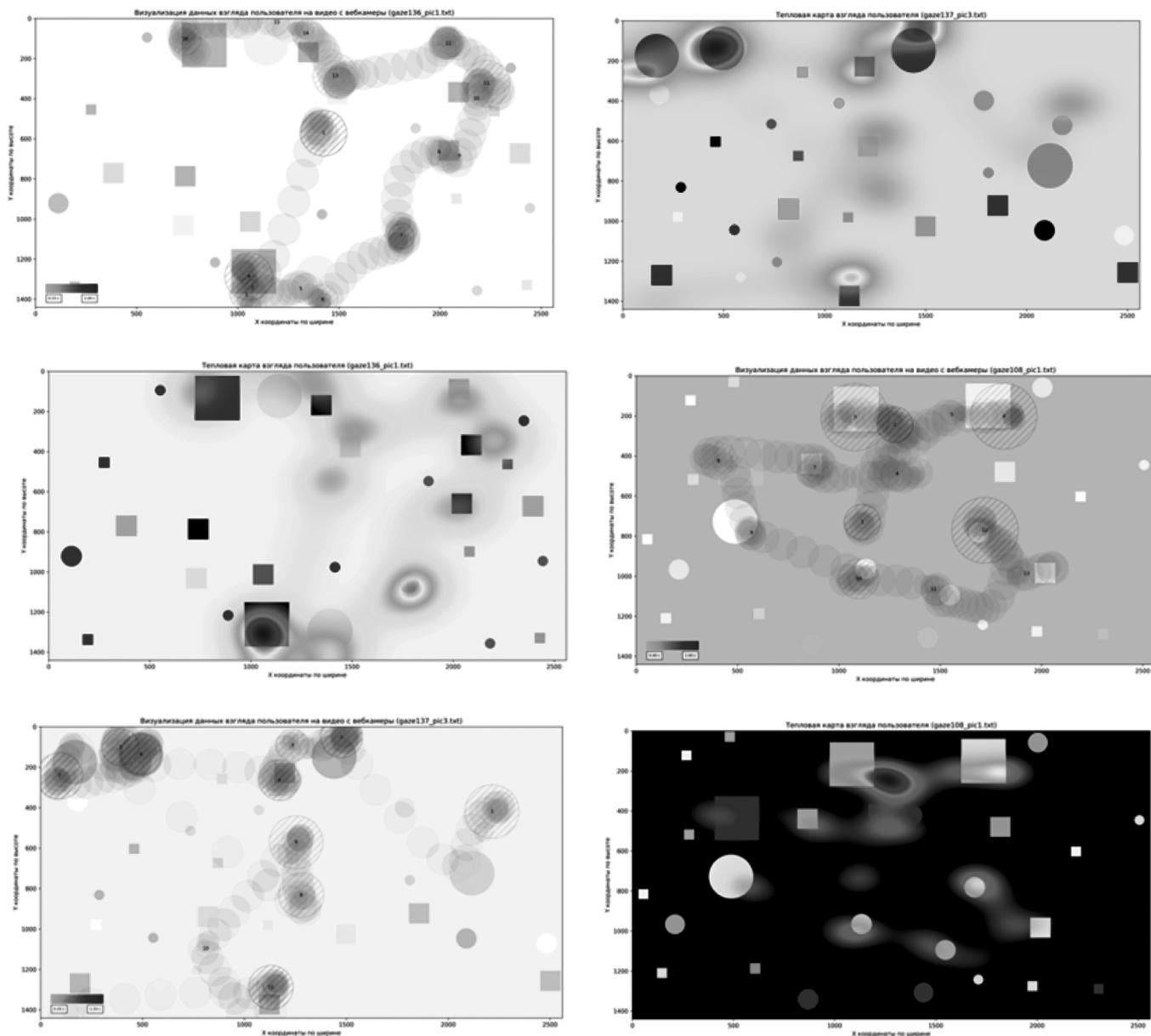


Рис. 9. Диаграммы разброса и тепловые карты для цветных контрастных ОУ

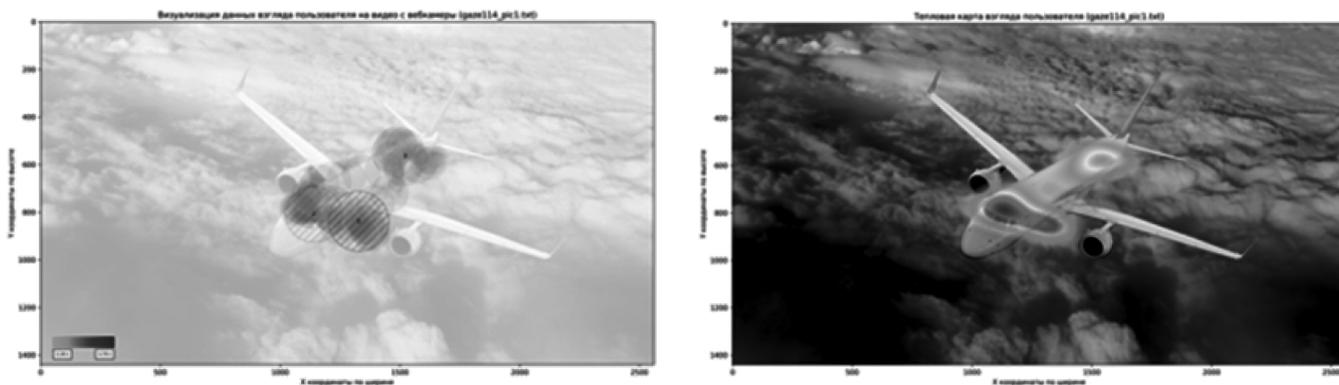


Рис. 10. Исследуемые объекты

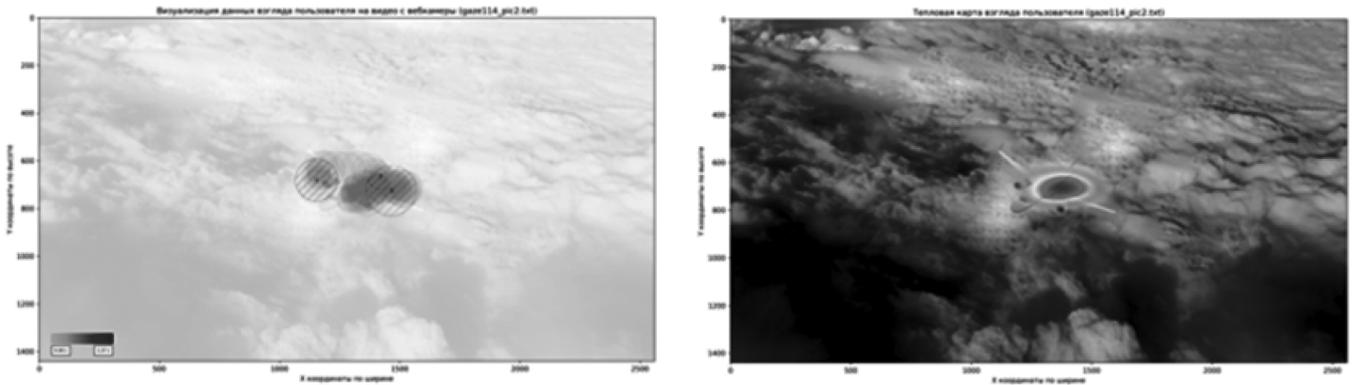


Рис. 11. Исследуемые объекты

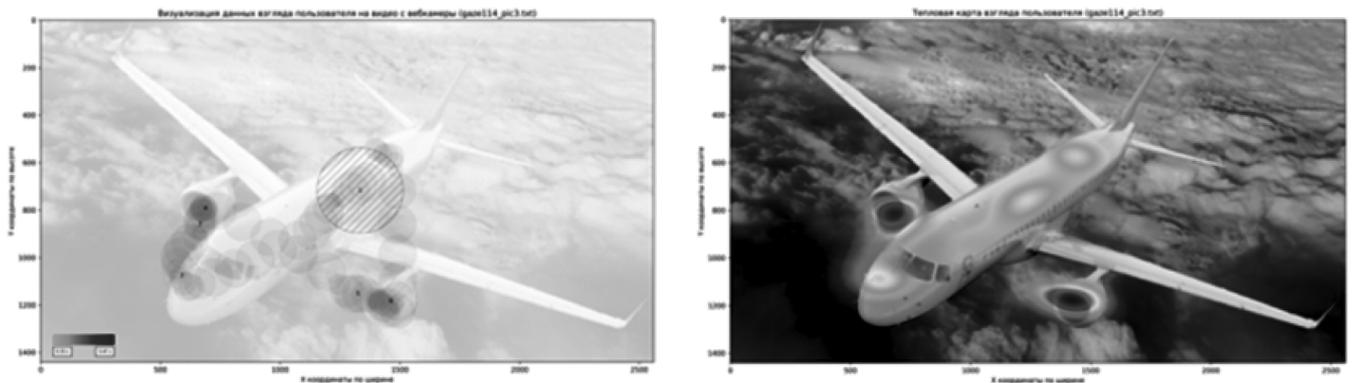


Рис. 12. Исследуемые объекты

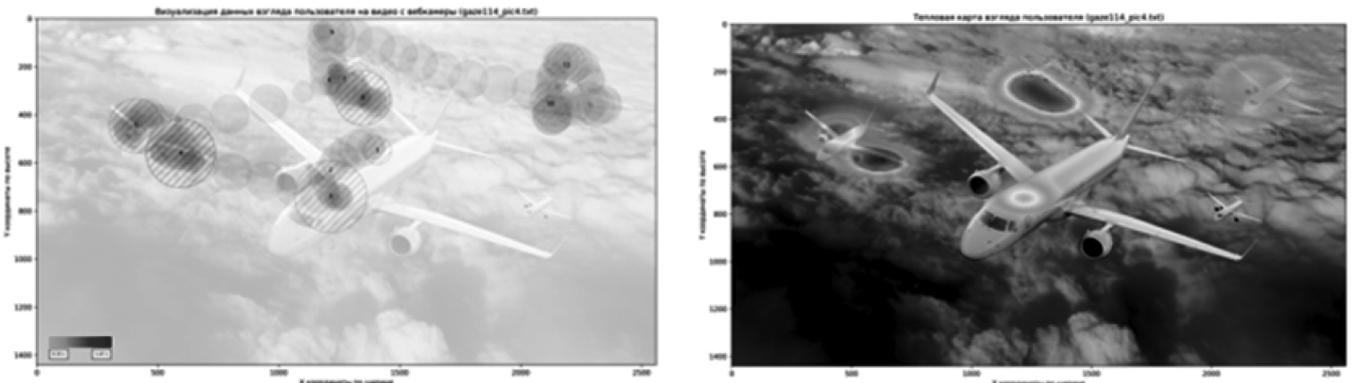


Рис. 13. Исследуемые объекты

На самолет, находящийся по центру, пользователь практически не смотрел. Его внимание привлекли новые объекты, появившиеся вокруг центрального. Трекер зафиксировал фиксации взгляда и его траектории движения между ними.

#### Анализ полученных результатов

Проведённые эксперименты с использованием самописного трекера глаз позволили собрать обширный массив данных о визуальном взаимодействии пользователя с графическими изображениями, отличающимися по динамике, контрастности, цвету, размеру и детализации. Анализ этих данных выявил ключевые особенности восприятия и подтвердил эффективность трекера как инструмента для подобных исследований.

При работе с динамическим объектом управления трекер продемонстрировал способность точно фиксировать траекторию движения взгляда, что подтверждается равномерным распределением внимания вдоль пути объекта. Система успешно зарегистрировала как само перемещения взгляда пользователя за целью, так и кратковременные фиксации, которые делал испытуемый, останавливая взгляд.

Исследование восприятия цветных контрастных объектов показало, что визуальные характеристики существенно влияют на распределение внимания. Пользователь демонстрировал склонность сначала фокусироваться на элементах с высокой контрастностью и насыщенностью цвета, что подчёркивает роль этих

параметров в привлечении внимания. Время реакции на новые изображения оставалось стабильным, а последовательность переключения взгляда отражала приоритетность объектов по их визуальной заметности. Это указывает на то, что трекер способен выявлять закономерности, связанные с влиянием цветовых и контрастных характеристик на когнитивные процессы.

Эксперименты с изображениями самолёта, варьирующегося по масштабу, выявили зависимость визуальных стратегий от размера объекта. На изображении с реальным масштабом пользователь применял аналитический подход, переключая внимание между ключевыми деталями. При уменьшении объекта наблюдалось более обобщённое восприятие, тогда как увеличение масштаба стимулировало детальное изучение с последовательным перемещением взгляда по элементам объекта. Эти различия подтверждают, что масштаб объекта влияет на глубину восприятия, а трекер эффективно фиксирует такие изменения в поведении взгляда. При анализе изображения с множеством объектов разного размера внимание пользователя сместилось на новые элементы, что демонстрирует эффект новизны и значимость вари-

аций размера в распределении внимания. Трекер точно зафиксировал траектории движения взгляда и длительность фиксаций, что позволяет использовать эти данные для изучения конкуренции объектов за внимание.

### Заключение

Исследование подтвердило применимость самописного трекера глаз для анализа акцентов внимания [6] и восприятия сложных графических изображений с различными характеристиками. Трекер показал высокую надёжность в регистрации данных о визуальном взаимодействии, а созданные инфографики оказались эффективным инструментом для изучения зрительного поведения, позволяя выявить влияние контрастности, цвета и размера на внимание пользователя. Полученные результаты открывают перспективы для применения технологии в оптимизации интерфейсов, улучшении эргономики и разработке адаптивных [7] систем, а также в таких областях, как психология и реклама, где важно понимание когнитивных процессов и акцентов внимания.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кухта, М.С. Восприятие визуальной информации: философия процесса / М.С. Кухта. — Томск: Томский государственный педагогический университет, 2004. — 202 с. — ISBN 5-89428-151-2. — EDN QXKDKR.
2. Горячкин, Б.С. Определение акцентов внимания с помощью интеллектуального самописного трекера глаз / Б.С. Горячкин, А.А. Савельев // *Computational Nanotechnology*. — 2024. — Т. 11, № 4. — С. 35–44. — DOI 10.33693/2313-223X-2024-11-4-35-44. — EDN FYRWAJ.
3. Основы оптимального стиля. Когнитивно-ориентированный анализ удобочитаемости текста программы // Фовеа, поле зрения. URL: [https://habr.com/ru/companies/epam\\_systems/articles/517398/](https://habr.com/ru/companies/epam_systems/articles/517398/) (дата обращения: 12.10.2024).
4. Документация по модулю «`pyplot.scatter`» // Построение диаграмм рассеивания. URL: [https://matplotlib.org/stable/api/\\_as\\_gen/matplotlib.pyplot.scatter.html](https://matplotlib.org/stable/api/_as_gen/matplotlib.pyplot.scatter.html) (дата обращения: 28.09.2024).
5. Понятие тепловой карты. URL: <https://cloud.yandex.ru/docs/datalens/visualization-ref/heat-map-chart> (дата обращения: 25.09.2024).
6. Горячкин Б.С., Якубов А.Р., Аникин Ф.А. Исследование акцентов внимания для различных видов изображений с помощью самописного трекера глаз // *Научный журнал «Наукофера»*. Сетевое издание — Смоленск, № 5 (2), 2024. Раздел Технические науки. С. 336–346. DOI 10.5281/zenodo.11487319
7. Горячкин Б.С., Бобров Д.В. Эффективность принципов адаптивной вёрстки при разработке пользовательских интерфейсов // *Динамика сложных систем* — XXI век. 2023. Т. 17. № 1. С. 55–62. DOI 10.18127/j19997493-202301-04. EDN SEJPOZ.

© Савельев Алексей Александрович (savelevvaa@mail.ru); Жидков Егор Ильич (e.jidkov@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»