

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ОКУЛОГРАФИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА

USING EYE-TRACKING DATA IN HUMAN-MACHINE INTERFACE DESIGN

G. Boyarsky
D. Cherny

Summary. This paper explores the possibility of using eye-tracking technology in the development of new display systems and their integration into prospective passenger aircraft cockpits. The research environment includes proprietary display simulation software, a custom outside-the-cockpit visualization system, and the X-Plane flight simulator (by Lamina Research). When designing new types of indicators, challenges arise regarding the optimal layout of display patterns on the screen, as well as the validation of the quality and usability of the display system's logic, color schemes, and animation solutions. To enable independent assessment of these parameters, software was developed to collect information on the operator's gaze position on the indicator screen, the frequency of gaze fixation on critical instrument parameters, and subsequent analysis of this data. The technology was integrated into a prototype cockpit of a supersonic passenger aircraft.

Keywords: Eye Tracking, oculography, aviation ergonomics, flight safety.

Боярский Глеб Геннадьевич

кандидат технических наук, ведущий инженер, Центр «Авионика» (МАИ) Московский авиационный институт
glebboyarsky@gmail.com

Черный Денис Юрьевич

магистрант, Российский Университет транспорта
mosavia.dc@gmail.com

Аннотация. В работе исследуется возможность применения технологии отслеживания взгляда при разработке новых систем индикации и их интеграции в перспективные кабины пассажирских самолетов. В качестве среды исследований использовано собственное программное обеспечение для моделирования индикации, собственная система визуализации внекабинного пространства, а также авиасимулятор X-Plane (производства Lamina Research). При разработке новых типов индикаторов возникает задача оптимальной компоновки индикационных паттернов на экране индикатора, подтверждения качества, удобства логики работы индикационной системы, цветовых, схемных и анимационных решений. В интересах реализации независимой оценки этих параметров было разработано программное обеспечение, обеспечивающее сбор информации о положении взгляда оператора на экране индикатора, частоте фиксации взгляда на контрольных параметрах приборов и последующий их анализ. Технология была интегрирована в стенд-прототипирования кабины сверхзвукового пассажирского самолёта.

Ключевые слова: Eye Tracking, окулография, авиационная эргономика, безопасность полетов.

Введение

В течение всего полета экипажу необходимо контролировать множество параметров полёта. Для отображения информации подходят только визуальная, звуковая и тактильная формы представления [1]. При этом большую часть информации экипаж получает по средствам визуальной формы представления. Так, по данным отчета NTSB об авиационных происшествиях с 1978 по 1990 год [2], неправильное и несвоевременное чтение показаний приборов стали причиной более чем в 80 % происшествий.

Следовательно задача состоит в том, чтобы улучшить процесс взаимодействия экипажа и воздушного судна путем рассмотрения процессов потери внимания, когнитивных процессов, лежащих в основе пилотирования. Данные, получаемые от eye-tracker'a, позволяют определить основные глазодвигательные события, например фиксацию человеком значения индикатора, изменения фокуса, возникновение туннельного эффекта. Данные процессы лежат в основе чтения человеком информа-

ции и принятия критически важных решений по управлению воздушным судном.

Системы отслеживания взгляда активно применяются в исследованиях вопросов эргономики, а также на предмет более быстрой, альтернативной системы управления воздушном судном [3]. Они позволяют контролировать факт чтения экипажем параметров от систем отображения информации (СОИ). Визуальный контроль параметров полета и навыки пилотирования являются критическими важными для безопасности полета [4]. Актуальность работы подтверждается неоднократными рекомендациями Межгосударственного авиационного комитета по разработке комплексных программ оценки влияния человеческого фактора на безопасность полетов [5].

Методология

Разработка программных модулей для определения положения взгляда оператора

На текущий момент доступны два принципиально разных вида eye-tracker'ов:

1. Носимые — такие устройства надеваются на оператора и находятся на его голове, в течение всего исследования;
2. Дистанционные — данные устройства могут устанавливаться в необходимых для исследования местах и никак не влияют на работу оператора.

В данной работе, для определения позиции точки взгляда на СОИ используется дистанционный *eye-tracker*, который применяет безопасное для человека инфракрасное излучение для создания бликов на поверхности глаза, затем камеры делают высокоскоростные снимки глаз и искусственно создаваемых бликов. *Eye-tracker* выдает информацию о взгляде в 2D-системе координат, выравненной с активной областью отображения информации. Активной областью называется область отображения информации, исключая рамку монитора (индикатора). Точкой отсчета (левой верхней точкой) координат является левый верхний угол области монитора, а правой нижней точкой будет являться точка с координатами x и y , где x — ширина монитора, y — высота монитора.

В качестве данных, получаемых от датчика, выступают координаты точки положения взгляда и временная

отметка этой точки. Программный комплекс разделен на два модуля:

1. Модуль, который получает информацию от *eye-tracker*'а, а затем отправляет принимающему модулю по сетевому протоколу *UDP*, информацию о положении взгляда;
2. Модуль, принимающий информацию о положении взгляда. Данный модуль визуализирует положение взгляда в режиме реального времени, позволяя накладывать его на различные изображения индикации, записывает сессию, используется для последующего анализа проведенной сессии.

Данный подход обеспечивает легкость интеграции системы в стенды, независимость получаемых данных от физической конфигурации стенда. Схематическое изображение получения и обработки данных представлено на рис. 1.

Получение информации с eye-tracker'а, отправка данных по сети

При организации исследовательских стендов не редки случаи, когда стенд формируется из комплекса раз-

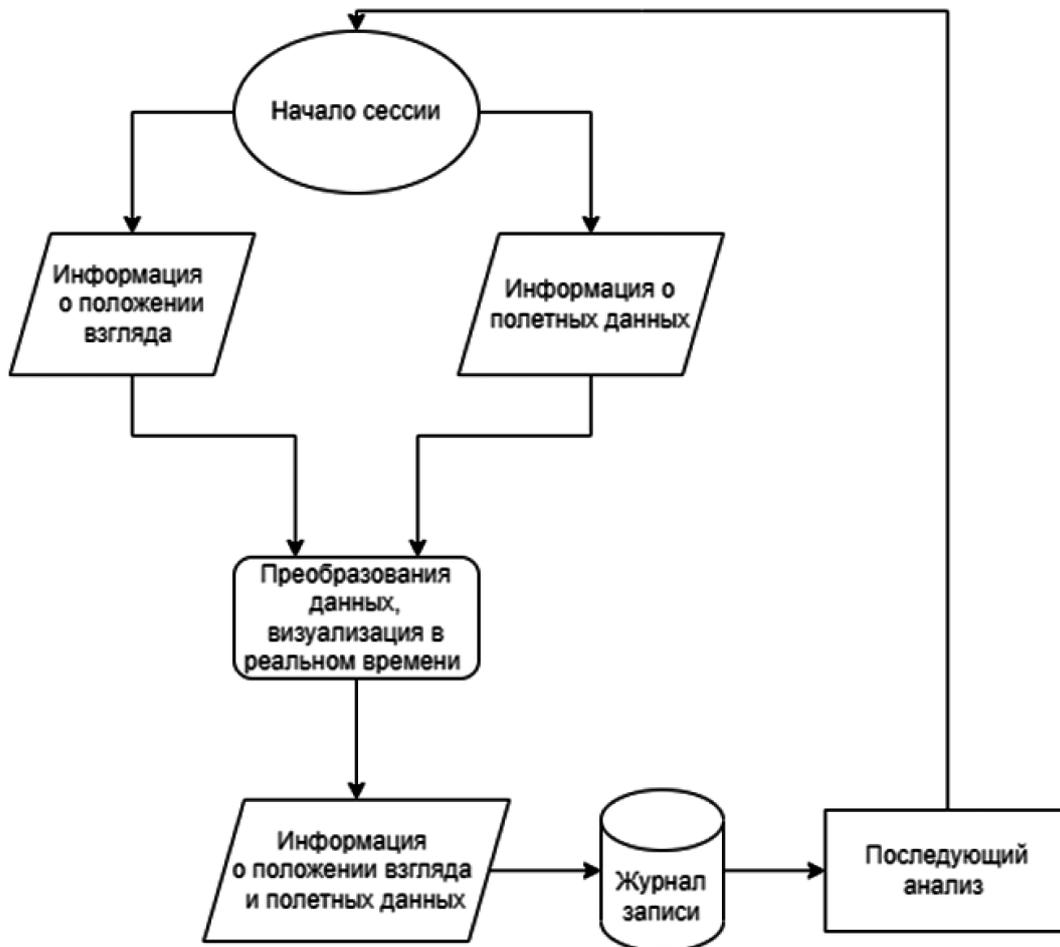


Рис. 1. Получения и обработки данных

розненных вычислительных машин и средств отображения информации, объединенных между собой локальной высокоскоростной информационной сетью. В этом случае необходимо организовать корректную передачу и отображение параметров виртуальных индикаторов, отображающихся на СОИ с учетом их пространственного положения и физических размеров. Последняя необходимость может возникать в зависимости от типа используемого *eye-tracker'a*.

В случаях, когда используется дистанционный *eye-tracker* (размещаемый на СОИ), для получения координат положения точки взгляда, исходные данные о положении точки взгляда необходимо преобразовать к нормализованной системе координат.

Преобразование выполняется путем пропорционального изменения выходных координат положения точки взгляда от *eye-tracker'a*. Этот подход позволяет принимающему модулю выводить изображение точки взгляда независимо от конфигурации и габаритов стенда. Для перехода к нормализованным координатам применяются формулы 1.1 и 1.2 соответственно.

$$x_{norm} = x_1 \cdot \frac{2}{\text{ширина СОИ}} - 1, \quad (1.1)$$

где x_1 — текущая x координата положения взгляда.

$$y_{norm} = y_1 \cdot \frac{2}{\text{высота СОИ}} - 1, \quad (1.2)$$

где y_1 — текущая y координата положения взгляда.

Схематическое изображение системы координат представлено на рис. 2 [6].

Прием, обработка и хранение данных о положении взгляда

Для взаимодействия с *eye-tracker'ом* используется *Tobii Core SDK* для платформы *.NET Core*. Платформой для клиентского приложения служит технология *WPF*.

Прием данных

Координаты положения точки взгляда, поступающие по *Ethernet* кабелю, находятся в пределах от $[-1, 1]$ до $[1, 1]$.

Для корректного отображения данных о положении взгляда необходимо применить обратные преобразования и тем самым привести координаты от нормализованного вида к экранным. Одновременно с данными о положении взгляда, поступает видеопоток с исследовательского стенда. Синхронизация видеопотока и информации о положении взгляда осуществляется с использованием алгоритма на основе временных отметок. Для воспроизведения и транскодирования видеопотока в реальном времени применяется набор сводных библиотек с открытым исходным кодом *Fmpeg*, встроенных в принимающий модуль программного обеспечения. Поверх схемы индикации накладывается положение точки взгляда, что позволяет определить текущий считываемый оператором параметр. Пример диалогового окна, отображающего видеопоток и соответствующую схему индикации с отображением текущего положения точки взгляда, приведен на рис.3.

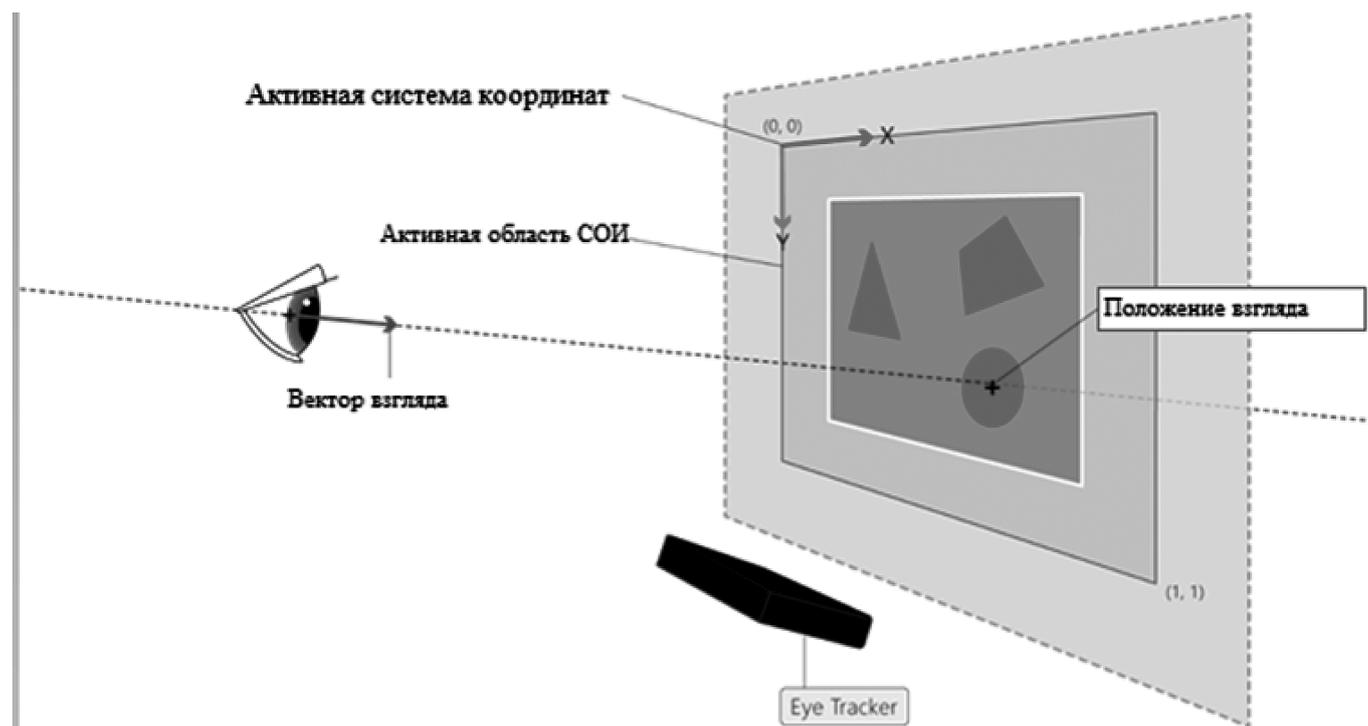


Рис. 2.

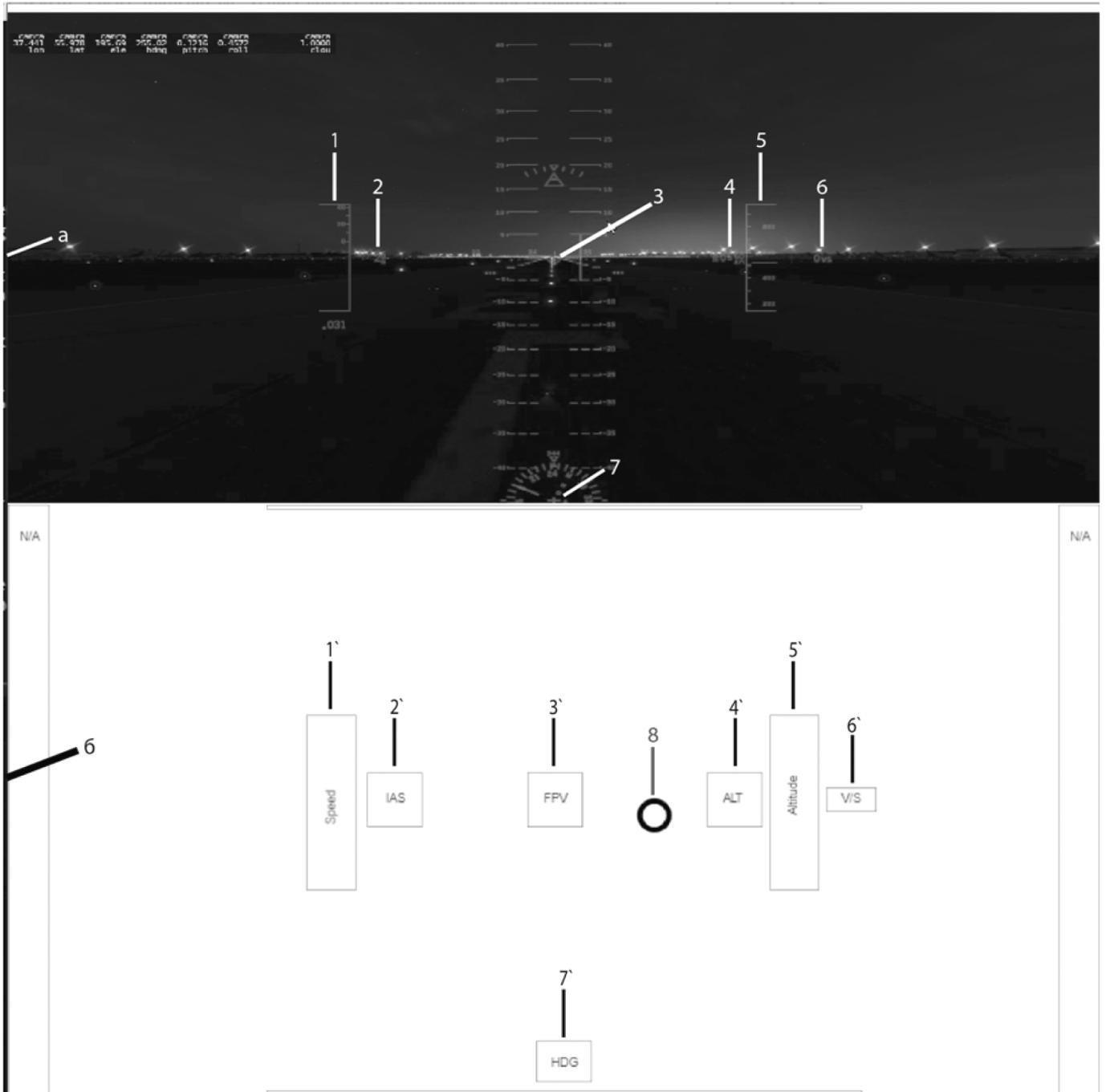


Рис. 3. Отображение исследовательской сессии в двух окнах: а — видит оператор, б — видит исследователь

На Рис. 3 блок а, отображается видеопоток авиасимулятора, поступающий со стенда. В блоке б выводится соответствующая схема индикации и текущее положение точки взгляда (8). Элементы индикации (1–7), используемой на стенде, отображаются в блоке а, им соответствуют элементы с 1' по 7' на векторном изображении индикации.

Программное обеспечение позволяет записывать получаемые данные о взгляде оператора в текстовый табличный файл. Видеопоток также транскодируется

встроенным в приложение модулем. Затем оператор может воспроизвести записанную сессию. Пример диалогового окна для просмотра записи представлен на рис. 4.

При анализе полетной сессии есть возможность кадрового просмотра записи, доступны режимы паузы и перемотки.

Таким образом, алгоритм обработки информации с *eye-tracker'a* состоит из следующих этапов:

- Получение необработанных данных от *eye-tracker'a*;



Рис. 4. Воспроизведение запись исследовательской сессии

- Приведение координат положения взгляда в нормализованный вид;
- Отправка данных по протоколу *UDP*;
- Получение и преобразование данных принимающим модулем;
- Отображение точки положения взгляда совместно с исследуемой индикацией;
- Запись полученных данных в журнал, для последующего анализа.

Интеграция технологии в стенд-прототипирования человеко-машинного интерфейса. Работа в составе стенда

Разработанные программно-аппаратные модули интегрированы в стенде-прототипирования человеко-машинного интерфейса, выполненным в виде концепта кабины сверхзвукового пассажирского самолета.

Концептуальной особенностью данной кабины является отсутствие лобового остекления и наличие в кабине одного пилота. Индикация и внекабинное пространство выводится на единый широкоформатный индикатор. Для стенда была разработана новая система индикации, позволяющая отображать всю необходимую информацию о полете на одном индикаторе.

Программная интеграция

Для программной интеграции на стенд был установлен передающий по сети *Ethernet* информацию о положении взгляда программный модуль, а также набор сводных библиотек *Ffmpeg* для передачи видеопотока.

Программное обеспечение для визуализации и анализа было установлено на независимый компьютер, находящийся в одной локальной сети со стендом.

Физическая интеграция

Датчик отслеживания положения взгляда устанавливается в нижней части СОИ, а затем подключается к компьютеру, генерирующему внекабинное пространство и индикацию, штатным кабелем типа *USB — A*,

Методика эксперимента

Для проведения эксперимента был выбран сценарий захода на посадку в аэропорту Шереметьево. Имитационная сессия была разделена три фазы (рис. 5).

Для анализа данных этап полета был разделен на следующие три под-этапа:

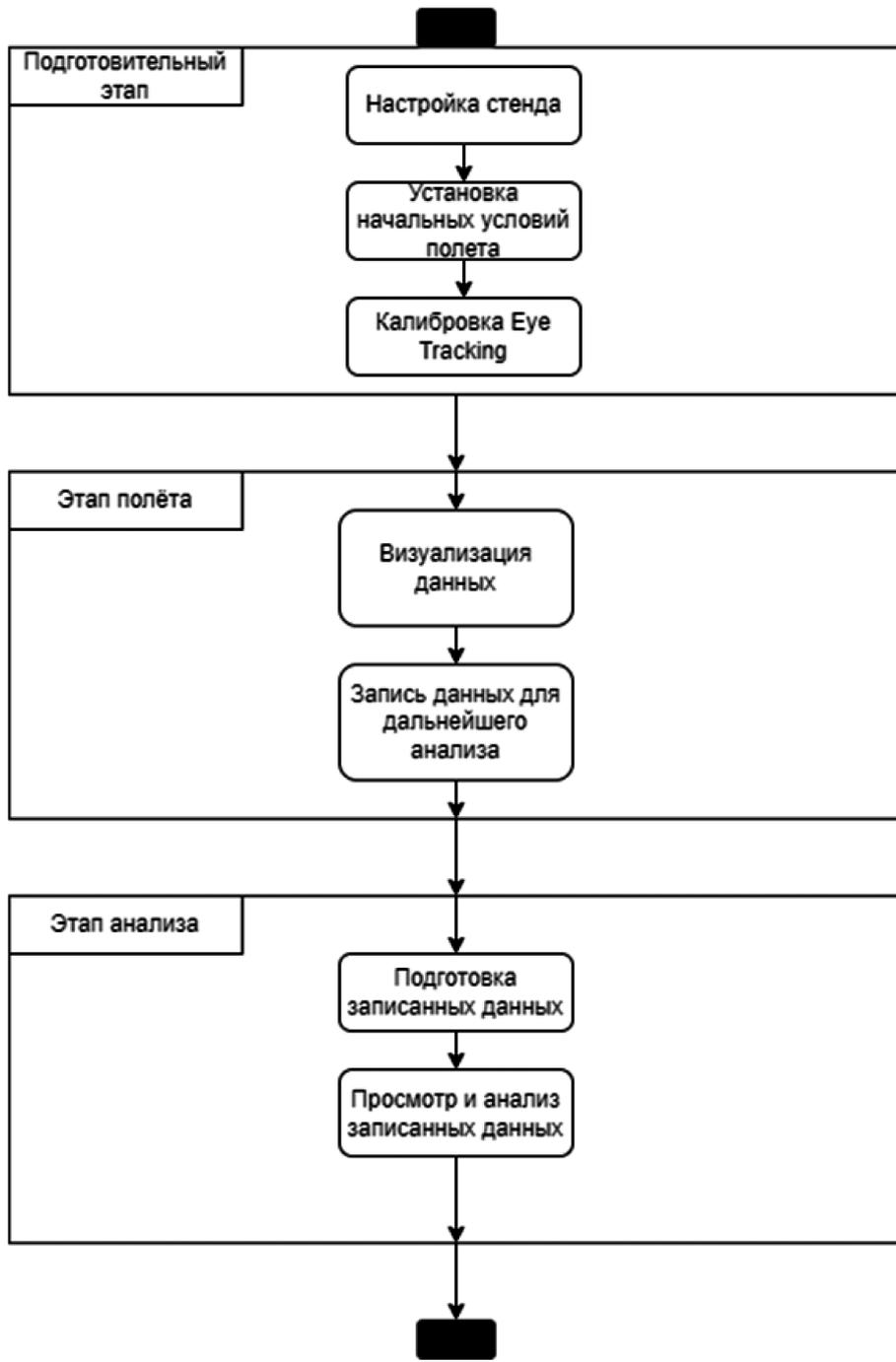


Рис. 5.

1. От высоты 2500ft до 1500ft;
2. От высоты 1500ft до 500ft;
3. От высоты 500ft до момента посадки или принятия решения об уходе на второй круг [7].

Описательный анализ результатов

На рис. 6 представлены три диаграммы на основе записанных данных. На рисунке (рис. 6 а) отображена диаграмма первого под-этапа. Рис. 6 б — второй под этап соответственно. На рис. 6 в — диаграмма для заключительно, 3 под-этапа захода на посадку.

Зонам с наиболее интенсивным цветом соответствуют те области, в которых количество фиксаций взгляда было максимально, а зонам с наименьшей интенсивностью соответствуют те области, где зафиксировано меньшее количество фиксаций взгляда. Это позволяет выявить те области, куда оператору приходится смотреть наиболее часто в течение сессии.

В зависимости от фазы полета, после стабилизации параметров, оператор постепенно переводит свое внимание на область проецирования внекабинного про-

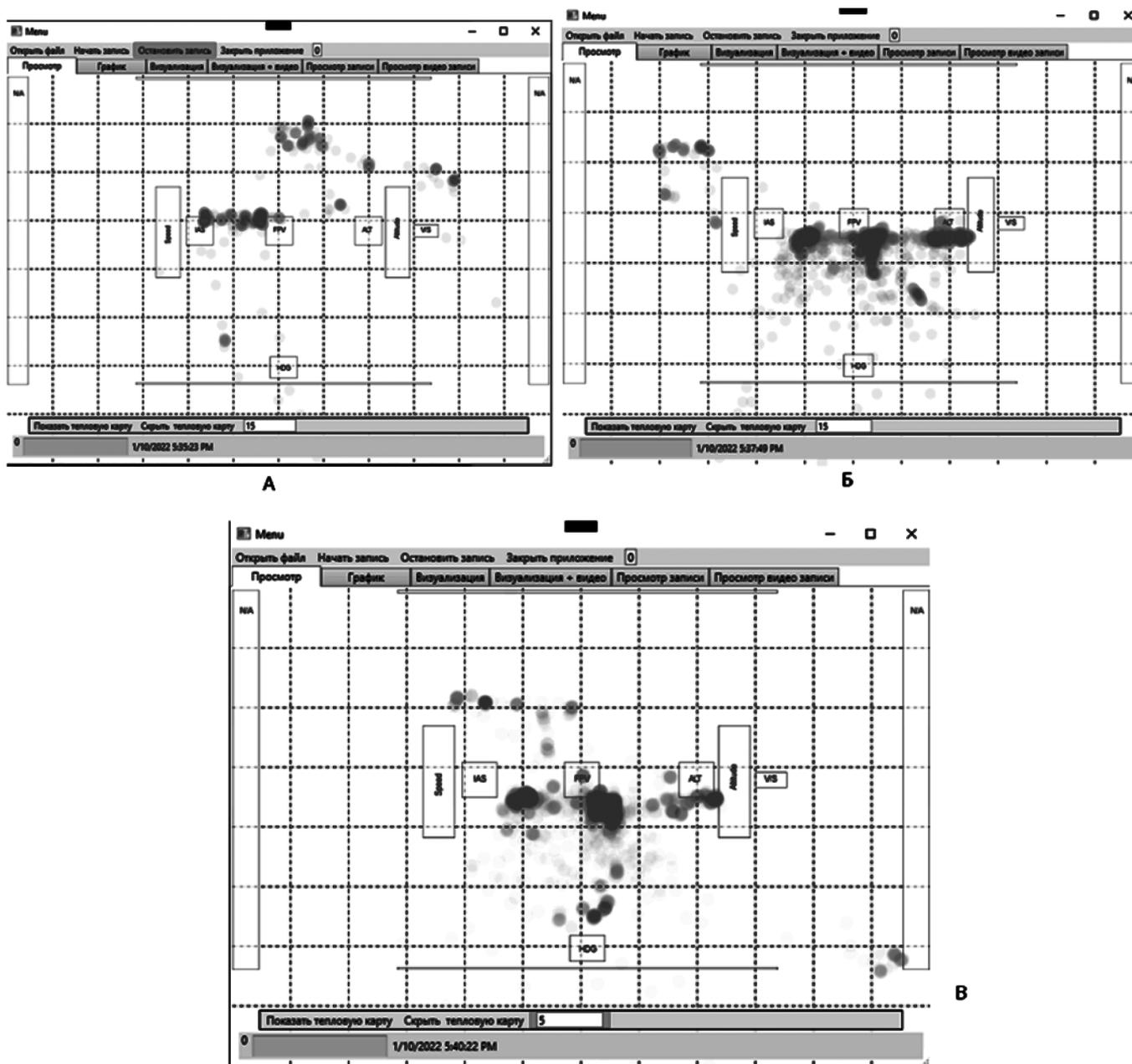


Рис. 6. Рабочие окна анализа результатов эксперимента

странства. На рис. 6 б и рис. 6 в видно, как область сосредоточения внимания оператора постепенно переходит от параметров индикации к области внекабинного пространства. При этом оператор пользуется стратегиями визуального сканирования, которые могут быть рассчитаны для каждого вида индикации [8].

Заключение

Разработанный инструмент для определения и визуализации положения точек взгляда позволяет облегчить решение задачи независимой оценки удобства отображаемой индикации, проводить дополнительную

объективную оценку качества сформированных на индикаторах символов, в том числе в условиях моделирования критических ситуаций. На стенде прототипирования выполнена проверка работоспособности системы, приведены диаграммы распределения внимания при имитации захода на посадку. Преимущество системы отслеживании взгляда заключается в легкой интеграции, а также бесконтактном взаимодействии с оператором. На основе данных, получаемых от *eye-tracker'a*, в дальнейшем возможно построение систем контроля состояния экипажа и разработка комплексных программ влияния человеческого фактора на безопасность полетов [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучерявый А.А. Авионика: Учебное пособие — 3-е изд., 2019. С. 284–285.
2. National Transportation Safety Board (NTSB). A Review of Flightcrew-Involved, Major Accidents of U.S. Carriers, 1978 through 1990, Safety Study NTSB/SS-94/01; NTSB: Washington, DC, USA, 1994.
3. Shree DV, Jeevitha; Murthy, L. R. D.; Saluja, Kamalpreet Singh; and Biswas, Pradipta (2018) "Operating Different Displays in Military Fast Jets Using Eye Gaze Tracker," Journal of Aviation Technology and Engineering: Vol. 8: Iss. 1, Article 4. URL: <https://doi.org/10.7771/2159-6670.1184>.
4. Lee, J.D. Human factors and ergonomics in automation design. In Handbook of Human Factors and Ergonomics, 3rd ed.; JohnWiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2006; С. 1570–1596.
5. Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств-участников соглашения о гражданской авиации и об использовании воздушного пространства в 2020 г. Межгосударственный авиационный комитент, 2021 г.
6. <https://developer.tobiiipro.com/commonconcepts/coordinatesystems.html>.
7. Maxime Reynal, Yvonne Colineaux, Andre Vernay, Frédéric Dehais. Pilot Flying vs. Pilot Monitoring during the approach phase: an eye-tracking study. International Conference on Human-Computer Interaction in Aerospace (HCI-Aero 2016), Sep 2016, Paris, France. С. 1–7.
8. Lounis C, Peysakhovich V, Causse M (2021) Visual scanning strategies in the cockpit are modulated by pilots' expertise: A flight simulator study. PLoS ONE 16(2): e0247061. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247061>.
9. Vsevolod Peysakhovich, Olivier Lefrançois, Frédéric Dehais, Mickaël Causse The Neuroergonomics of Aircraft Cockpits: The Four Stages of Eye-Tracking Integration to Enhance Flight Safety. Safety, February 2018.

© Боярский Глеб Геннадьевич (glebboyarsky@gmail.com); Черный Денис Юрьевич (mosavia.dc@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»