

УДК 159.931

П.А. Орлов, В.В. Лаптев, В.М. Иванов

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ СИСТЕМ АЙ-ТРЕКИНГА

Показаны перспективы использования ай-трекингового оборудования в области когнитивных дисциплин и человеко-компьютерного взаимодействия. Показан и частично раскрыт потенциал как стационарной установки (SMI RED250) для применения в лабораторных условиях, так и переносной – головной системы SMI HED50. Определены основные области, в которых целесообразно использовать ай-трекинговое оборудование: когнитивные исследования, исследования графических пользовательских интерфейсов, человеко-компьютерное взаимодействие и психология программирования. Разобрано решение конкретной задачи по зрительному восприятию несмысловых художественных композиций. Приведены полученные результаты исследований.

АЙ-ТРЕКЕР; ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ; ЧЕЛОВЕКО-КОМПЬЮТЕРНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ; ИНТЕРФЕЙС; ПРОГРАММИРОВАНИЕ.

P.A. Orlov, V.V. Laptev, V.M. Ivanov

REVISITING THE ISSUE OF EYE-TRACKING APPLYING

The given paper focuses on the opportunities how to use eye-tracking systems in the field of cognitive science and HCI. We have shown both possibilities of a table based eye-tracking system (SMI RED 250) for the laboratory studies and a head mounted system SMI HED50. The aim of the paper is to define the basic task for an eye-tracking technique to solve. We have achieved such tasks as cognitive studies, the studies of GUI, HCI and the psychology of programming. The obtained results have been provided for each task.

EYE-TRACKING; EYE MOVEMENT; HCI; GUI; PROGRAMMING.

Вопросы зрительного восприятия визуальных стимулов, опирающиеся на законы композиции и инфографики, играют большую роль в организации человеко-компьютерного взаимодействия. Ответы на эти вопросы диктуют применение соответствующих инновационных подходов при проведении исследований. Одним из таких современных программно-аппаратных комплексов можно считать системы фиксации окуломоторной активности ай-трекинга [2]. Системы ай-трекинга, появившиеся в 50-х гг. XX века [13], прошли высокотехнологичный путь развития и на сегодняшний момент используются в весьма широкой области приложений.

Основной задачей ай-трекингового комплекса является регистрация и передача в режиме реального времени (в нашем случае с частотой 250 Гц) данных о движении глаза. Известно восемь типов движения человеческого глаза [13, 6, 2],

из которых наибольший интерес представляют фиксации и саккады. Фиксации (как определенная часть дрейфа) – это дрейф – медленное, плавное перемещение глаза в небольшой зоне [2]. Считается, что во время фиксаций происходит прием зрительной информации [12]. Саккада – резкий скачок глаза, при котором резко изменяется позиция глаза и, в свою очередь, меняется положение фиксации. Они отличаются высокой скоростью и точностью [2].

То, как человек рассматривает графическое изображение, читает, решает зрительные задачи, принято называть *окуломоторной активностью*. Эта деятельность, как и деятельность вообще, определяется текущей задачей [3, 4, 9]. Таким образом, изучая окуломоторную активность, мы имеем возможность вести исследования в области когнитивных дисциплин и человеко-компьютерного взаимодействия.

Принципиальная схема работы ай-трекинговой установки

Ай-трекинговые установки как стационарные, так и мобильные работают по одному принципу – видеоокулографии. На роговице глаза испытуемого регистрируется блик, по которому определяется направление взора. Рассмотрим схему работы мобильного ай-трекера, предназначенного для полевых условий.

Принцип работы данного аппарата заключается в видеорегистрации смещений зрачка и блика от направленного в глаз источника инфракрасного (ИК) излучения. На роговице образуется блик, видимый камере как светлое пятно, зрачок распознается как черное. Регистрация ведется на одном глазе. В зависимости от задач и условий исследования может быть выбран как левый, так и правый глаз. Чтобы не загромождать испытуемому взор, используется зеркало, прозрачное для видимого спектра (рис. 1). Полученная точка фиксации взора совмещается с изображением второй видеокamеры, которая снимает то, что видит испытуемый перед собой. По изображению со второй камеры производится калибровка системы для совмещения координат положения фиксации и экрана кадра.

При калибровке испытуемому предлагается посмотреть последовательно на пять точек. Точки располагаются в поле зрения испытуемого таким образом, чтобы он мог их видеть, не поворачивая головы. Координаты этих точек заносятся исследователем в прилагаемое программное обеспечение SMI IViewX, и по ним автоматически аппроксимируются все последующие вычисления. Алгоритм работы на приборе, предлагаемый производителем, включает следующие шаги: установка и закрепление прибора на голове испытуемого; калибровка ай-трекера на расстоянии, заданном условиями эксперимента; сбор данных; освобождение испытуемого от прибора.

Оборудование размещается с помощью шлема на голове человека. Легкий шлем с камерами удобно крепится ремешками за подбородок, чтобы не упасть с испытуемого. Испытуемый, надев такой шлем, не испытывает дискомфорта и привыкает к нему в течение нескольких минут. Время установки системы и проведения калибровки обычно занимает около 10 мин.

Особенность использования прибора на небольших расстояниях (несколько метров) заключается в том, что его можно использовать только для демонстрации стимульного материала в одной, заранее фиксируемой плоскости.

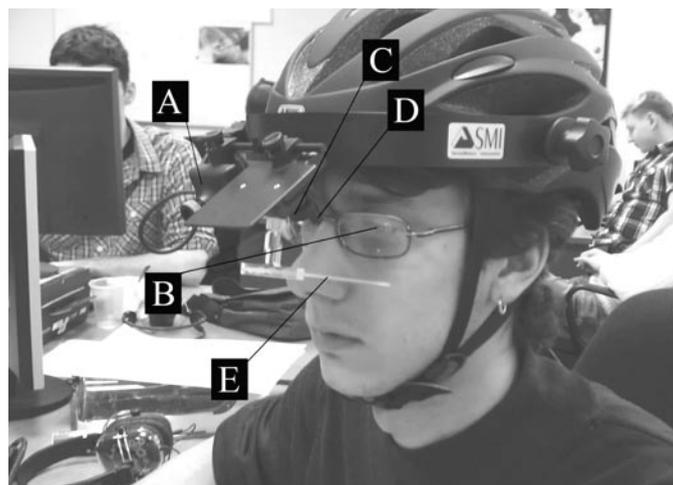


Рис. 1. Головная система ай-трекинга SMI HED50 IView X™ в рабочем положении для левого глаза на испытуемом:

А – камера, снимающая панораму перед испытуемым, на которую накладывается указатель направления взора; В – глаз испытуемого, с которого с помощью камеры С снимается отражение зрачка и блика на роговице от источника ИК излучения D; Е – ИК зеркало

Задачи появляющиеся при использовании систем ай-трекера

Когнитивные исследования. Под когнитивными исследованиями мы понимаем широкий круг задач, в которых человек выступает в плане субъекта познания. Познавательная деятельность человека, на примере студентов второго курса, была областью исследования при оценке субъективной сложности задачи. Целью исследования было сравнение «фокально-амбьентного» подхода к интерпретации окуломоторной активности [5] и подхода «проблемностей» – субъективной сложности [7]. Перед испытуемым стояли две задачи разной степени сложности. Первая – чтение двухзначных цифр, вторая – решение задачи программирования. Как показал анализ дисперсий, вероятность того, что изменение уровней качественного признака (сложности задачи) значимо влияет на величину количественного (проблемности), составляет примерно 97,3 %. В то же время соотношение использования амбьентного и фокального зрения не подвержено качественному фактору ($p.value = 0,21$). Интерпретируя результаты математического анализа, можно заключить, что качественный фактор не коррелирует с графической композицией стимула (UX-Russia 2012).

Следующим примером исследований познавательной деятельности человека могут быть эмпирические лабораторные эксперименты по определению кластеров зрительных фиксаций при «чтении» 2D потоковых диаграмм Санкеи [8]. Цель работы – выбор математического аппарата многомерной кластеризации фиксаций взгляда и построение на этой основе математической модели. Модель рассматривания может выступать как базис для выявления влияния факторов инфографики различного рода на процесс рассматривания и условного понимания диаграммы.

Процессы восприятия визуального стимула, представленного в моно- и в стереорежиме, также могут быть отнесены к когнитивным исследованиям. Используя стереоскопическое оборудование (Christie hd3 с затворными очками Mirage HD3),

мы провели исследование, целью которого было сравнение паттернов рассматривания стерео- и моновидеоматериала. Постановка задачи требовала совмещения ай-трекингового оборудования и стереосистемы на базе высокочастотных очков, что является нетривиальной технологической задачей. Одна группа испытуемых наблюдала подготовленный видеофрагмент в монорежиме, а вторая группа – этот же видеофрагмент, но подготовленный в стереоформате. Результаты кластерного анализа фиксаций взгляда показали отличие в расположении центров кластеров и в количестве кластеров. Таким образом, можно ставить вопрос об особенностях построения видеокадра в стереоизображениях по сравнению с моно.

Исследования графических пользовательских интерфейсов. Оценка юзабилити веб-сайтов и графических интерфейсов является одним из популярных вариантов использования ай-трекингового оборудования. Это обусловлено сравнительной легкостью использования бесконтактного оборудования, быстротой настройки и небольшими затратами на проведение непосредственно экспериментальной части. Однако чаще всего в качестве результата можно видеть только графическую визуализацию (тепловую карту) зон фиксации пользовательского взгляда. Следуя Ю.Б. Гиппенрейтер, мы считаем, что «глазные движения могут быть индикаторами сложных форм деятельности, только если учитываются многообразные и многоуровневые процессы, которые «проецируются» на эти движения или в них отражаются» [6].

Представляет интерес построение новых методик и подходов как к интерпретации результатов, так и к видам математического анализа данных окуломоторной активности. В настоящей работе по выявлению «проблемных» зон в интерфейсе сайта нами был осуществлен поиск корреляции относительно уровня когнитивной нагрузки и проблемности испытуемых [7]. Факторный анализ с покрытием более 70 % выявил два фактора и корреляции: между ментальной нагрузкой, физической нагрузкой, скоростью выполнения задачи и уров-



нем проблемности; между уровнем производительности, количеством затраченных сил (оцениваемых субъективно) и реакцией на фрустрацию.

Человеко-компьютерное взаимодействие. Использование ай-трекингового оборудования как устройства ввода и управления программой посредством глаза. В классическом представлении физиологии и психологии глаз является органом восприятия. Человек получает данные из окружающей среды и преобразует их в жизненно важную информацию. Глаз, постоянно находясь в движении, не является органом «производства» действия в прямом смысле, как, например, человеческая рука. По Н.А. Бернштейну, задача действия — это «результат, который организм стремится достигнуть» [4]. Задача, согласно А.Н. Леонтьеву, — это цель, данная в определенных условиях [9]. Таким образом, если условия диктуют новый вариант достижения цели, то представляется интересным рассмотреть работу глаза как часть человеко-компьютерного взаимодействия. Идея использовать взор человека для решения компьютерных (программных) задач не является новой [11]. Однако психологические особенности, особенности эффективности взаимодействия такого рода, ряд технологических вопросов взаимодействия «глаз — компьютер» представляют актуальную проблему [18, 23]. В работе по определению эффективности взор-содержащих интерфейсов продемонстрировано сравнение эффективности двух типов взаимодействия. Сравнивалась эффективность использования компьютерной мыши и управления взором. Испытуемым предлагалась задача визуального поиска определенного объекта на поле, причем искомым параметр появлялся на экране только при наведении на него курсора в первом случае или взора — во втором. Анализ продемонстрировал более высокую эффективность решения задачи при взаимодействии со взором (более чем на 40 %). Безусловно, этот результат может быть отнесен только к задачам определенного типа. Результаты этой работы представлены на симпозиуме по оculoмоторной активности «Ярбус-100» [22].

Психология программирования. Отдельно следует отметить использование ай-трекинговых систем в сфере чтения и производства программного кода. Психология труда программистов в условиях современного общества является актуальной сферой исследований. В 2012 г. нами было проведено полевое исследование работы программистов с использованием переносной головной системы ай-трекинга SMI HED50. Эта система позволила проводить запись оculoмоторной активности программиста прямо на его рабочем месте без отрыва от производства.

Целью исследования было определение уровня субъективной сложности при решении конкретных производственных задач и оценка по этому уровню пригодности новых сотрудников компании. В итоге были получены следующие основные результаты: уровень субъективной сложности (проблемность) при решении текущих профессиональных задач экспертами остается на низком уровне (не выше третьего, по Костину-Голикову). В то время как новые сотрудники компании, из числа бывших студентов, показывают более высокий уровень субъективной сложности (третий и выше) [20].

Визуальный анализ фиксаций взора программиста чаще всего проводится в привязке к семантике блоков исходного кода. Последовательность рассматривания блоков и особенности рассматривания одного блока могут быть объединены в паттерны рассматривания [17, 14]. Типы паттернов и их определение также является актуальной задачей [19]. Известно, что у профессиональных программистов и новичков паттерны отличаются [15], но даже среди профессионалов нет единой картины. В виду чего на 13th KOLI Calling International Conference on Computing Education [21] в рамках воркшопа по глазодвигательной активности в обучении программированию было представлено программное обеспечение для динамической визуализации. С помощью VETool стала возможной наглядная демонстрация не только фиксации блока исходного кода, но и развития решения задачи во времени [22].

Глазодвигательная активность и зрительное восприятие несмысловых художественных композиций

В рамках исследований вопросов когнитивного класса проводятся серии исследований на описание глазодвигательной активности при запоминании и вспоминании несмысловых графических композиций. Рассмотрим одно исследование подробнее.

Выдвигаемая гипотеза: существует ли какое-либо различие между стратегиями рассматривания несмысловых художественных композиций при решении задачи запоминания изображения и его последующего вспоминания, т. е. узнавания среди прочих последующих изображений. Или, другими словами, если стратегии рассматривания изображений при задачах запоминания и вспоминания изображения различны, то возможно ли определить это по показателям глазодвигательной активности.

Постановка эксперимента. Эксперимент проводился в лабораторных условиях на стационарном ай-трекере SMI RED250 (рис. 2). Под монитором расположено само устройство во включенном состоянии. Видно две работающие ИК лампы подсветки (съемка велась без ИК фильтра). В реальности ИК излучение человеческого глаз не воспринимает. Голова испытуемого опирается на подставку для уменьшения движения.

В эксперименте приняли участие на добровольной основе 30 испытуемых. Все испытуемые были отобраны среди студентов как технических, так и гуманитарных университетов. Основными критериями отбора являлись возраст от 18 до 30 лет и отсутствие какой-либо художественной подготовки.

Перед непосредственным началом эксперимента испытуемому пояснялась цель участия: сбор данных о движении глаз в процессе решения представленных заданий. Проводился инструктаж о ходе эксперимента, работе оборудования и общих целях исследования, не вдаваясь в подробности. Осуществлялась калибровка оборудования для каждого человека, производился выбор оптимальной позы для работы с ай-трекером. Расстояние до экрана составляло 60 см.

Процедура эксперимента. Исследование состояло из трех этапов.

На первом этапе эксперимента испытуемому предъявлялось пять картин К.С. Малевича. Необходимо было запомнить изображения. Участник эксперимента рассматривал предъявляемое изображение и по мере готовности переходил к следующему стимулу. После каждого стимула испытуемому предъявлялся пустой экран с точкой фиксации взора. После фиксации взора на точке, испытуемый мог перейти к следующему стимулу.



Рис. 2. Стационарная система ай-трекинга SMI RED250

После предъявления всех пяти изображений было необходимо отвлечь участника эксперимента от изображений. Для достижения этой цели ему предлагалось заполнить анкету участника и выпить чаю. Перерыв составлял 10 мин.

Далее испытуемому предлагалось вспомнить пять исходных изображений. При предъявлении каждого стимула испытуемому необходимо было дать ответ «да» или «нет», т. е. присутствовало ли предъявляемое изображение среди пяти исходных.

Третий этап эксперимента представлял собой аналогичную процедуру по узнаванию пяти изображений из первой группы стимульного материала, проведенную через неделю.

Участие экспериментатора было минимальным: фиксировались озвученные ответы по узнаванию изображений.

Выбор стимульного материала. На процесс зрительного восприятия произведений искусства, архитектуры и дизайна влияет ряд взаимодействующих факторов: смысловые связи, присущие объекту; использованные средства композиции; целевая установка зрителя и его прошлый опыт и пр. [10]

Уход от семантической нагрузки в стимульных изображениях (в виде реализма) был сделан неслучайно. Этот шаг позволил нам исключить фактор личностной оценки или эмоциональной значимости смыслового объекта в стимульном материале. При выборе достаточно выразительного и в то же время лаконичного материала было решено остановиться на абстрактных композициях книги К.С. Малевича «Супрематизм». Они составлены из одних и тех же простейших геометрических элементов: прямой, плоскости, кривой, круга, прямоугольника (пример изображения см. рис. 3).

Все художественные композиции являются беспредметными, бессмысловыми, однако в них выражены многие отношения и взаимосвязи реальных предметов. Из 34 работ было выбрано пять композиций, обладающих, на наш взгляд, наиболее чистой художественной организацией элементов. Именно эти пять изображений и послу-

жили таргет-объектами для эксперимента. К ним в дополнение были выбраны еще десять изображений — дистракторов. Еще пять композиций были получены путем поворота пяти основных стимулов на 180 градусов, образовав, таким образом, обратные таргет-объекты.

Результаты. Предварительные результаты показали статистическое различие между долями использования амбьентного и фокального типа зрения [5]. По Б. Величковскому, амбьентный тип зрения решает задачи, связанные с ответом на вопрос «где?», в то время как фокальный тип зрения — «что?». Деление по типам зрения происходит в зависимости от амплитуды саккад. В связи с этим для анализа нами и были выбраны амплитуды саккад.

Был проведен дисперсионный анализ данных по фокальному (т. е. предметному), а также амбьентному (т. е. пространственному) зрительному восприятию на наличие статистических различий в стратегиях рассматривания изображений при задачах запоминания и вспоминания. Результаты анализа представлены в табл. 1 и 2.

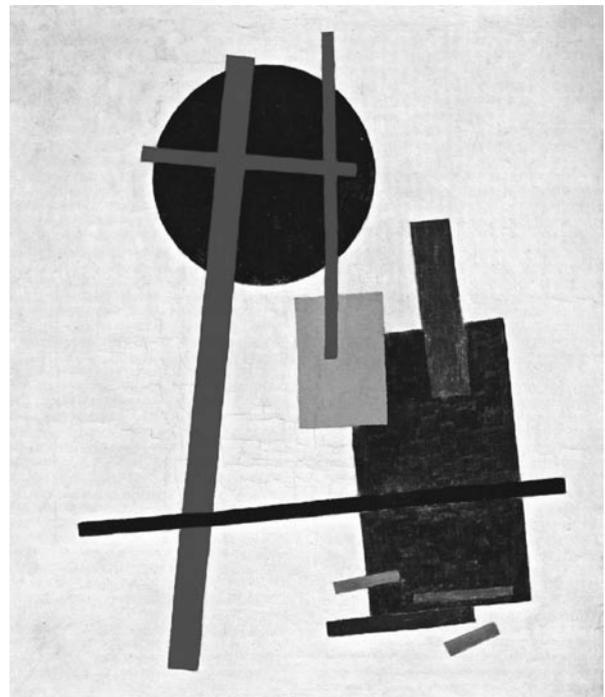


Рис. 3. Пример стимульного изображения из группы стимулов для запоминания

Таблица 1

Значения p-value сравнений амплитуд саккад при фокальном типе зрения

1 этап		Запоминание	2 этап, 10 мин			3 этап, 1 нед.		
			Таргет	Обратный таргет	Дистрактор	Таргет	Обратный таргет	Дистрактор
2 этап, 10 мин	Таргет	0,00056	*	—	—	—	—	—
	Обратный таргет	0,3943	1.24e-05	*	—	—	—	—
	Дистрактор	0,153	0,05007	0,02526	*	—	—	—
3 этап, 1 нед.	Таргет	0,6289	0,1747	0,3717	0,7888	*	—	—
	Обратный таргет	0,8912	0,01356	0,6847	0,282	0,6351	*	—
	Дистрактор	0,3223	0,5416	0,1618	0,7277	0,6398	0,07182	*

Таблица 2

Значения p-value сравнений амплитуд саккад при амбьентном типе зрения

1 этап		Запоминание	2 этап, 10 мин			3 этап, 1 нед.		
			Таргет	Обратный таргет	Дистрактор	Таргет	Обратный таргет	Дистрактор
2 этап, 10 мин	Таргет	<2.2e-16	*	—	—	—	—	—
	Обратный таргет	<2.2e-16	0,04513	*	—	—	—	—
	Дистрактор	2.89e-14	0,4665	0,00461	*	—	—	—
3 этап, 1 нед.	Таргет	0,1778	1.7e-08	1.92e-12	1.8e-07	*	—	—
	Обратный таргет	0,00345	0,0111	7.19e-05	0,0457	0,0027	*	—
	Дистрактор	0,1762	0,0041	3.62e-05	0,0135	0,0503	0,4812	*

Отметим, что сравнивая выборки при запоминании со всеми выборками второго и третьего этапа, мы видим только одну пару статистически различимых выборок (p-value: 0,00056): пару «таргет (10 мин) — запоминание». Очевидно, что это можно интерпретировать тем, что испытуемый за 10 мин не успел забыть стимульное изображение и рассматривает его уже по-другому.

Через 10 минут при сравнении выборок амплитуд «таргет (10 мин) — обратный таргет» мы видим сильное различие в выборках

(p-value: 1.24e-05). Причем, если принять за уровень значимости p-value 0,01, то выборки пар «таргет (10 мин) — дистрактор» и «дистрактор — обратный таргет» будут статистически схожими (p-value: 0,05007 и 0,02526 соответственно).

Через неделю выборки сравнений между тремя группами показывают статистическое сходство.

Из таблицы амбьентного типа зрения видна противоположная картина. Сравняя выборки амплитуд саккад при 10-минутном перерыве, очевидно сильное различие в вы-



борках ($p\text{-value} < 2.2e-16$; $p\text{-value} = 2.89e-14$). Вероятно, что при амбьентном типе зрения (с ответом на вопрос «где?») испытуемый «по-разному» отвечает на вопрос «где?» при запоминании и при вспоминании, вне зависимости от типа стимула. Через неделю картина меняется и становится больше похожей на фокальный тип, выборки становятся статистически схожими, за исключением пары «запоминание–обратный таргет» ($p\text{-value} = 0,00345$). Может быть это связано именно с «перевернутостью» стимула, однако в нашем исследовании мы не касались этого вопроса, который очевидно требует дальнейшего изучения.

Сравнивая выборки амплитуд саккад между собой, можно отметить, что сходство пар «дистрактор–таргет», схожее через 10 мин ($p\text{-value}: 0,4665$), теряет этот показатель через неделю ($p\text{-value}: 0,0503$). В то время как пара «обратный таргет–дистрактор» показывает противоположную динамику от $p\text{-value} = 0,00461$ (10 мин) к $p\text{-value} = 0,4812$ (1 нед.).

Таким образом, на вопрос о схожести стратегий рассматривания несмысловых художественных композиций при запоминании и вспоминании мы отвечаем по большей части положительно. По показателям глазодвигательной активности можно определить видел ли испытуемый предъявленный стимул через 10 мин, однако уже через неделю это сделать не удастся. Исходя из наших результатов, можно сделать предположение относительно рассматривания обратного таргет-изображения через неделю, что при повороте даст нам искомый таргет. Этот результат не явно подтверждается статическими методами ($p\text{-value} 0,00345 < 0,01$), но близок к ним. Также обратный таргет ярко проявляется через 10 мин при сравнении с другими параметрами, что позволяет его идентифицировать. Идентификация стимулов через недельный промежуток становится более затруднительной, но все же и в ней прослеживается пара «обратный таргет–дистрактор». Суммируя, мы можем указать на то, что в наших результатах особенным образом себя ведет именно перевернутое исходное изображение: обратный таргет.

Обобщая результаты экспериментов по вспоминанию картин Малевича, мы обратимся к эксперименту Э. Рубина 1915, а именно к интерпретации его Аллахвердовым. Испытуемым предъявлялись абстрактные изображения (чернильные кляксы) с инструкцией запомнить фигуру-фонное отношение на нем. Было обнаружено, что, по мнению Аллахвердова, «...испытуемые узнают предъявленное изображение, но не осознают этого. Значит, существует какое-то неосознанное восприятие?»[1]. В нашем эксперименте испытуемым не ставилась задача рефлексии на тему перевернутого стимула, и лишь несколько человек сочли нужным дать устный отчет о том, что стимул был, но был перевернут. Вероятно, наше исследование поставило новые вопросы для дальнейшего изыскания.

По вопросу применения систем ай-трекинга нами были выделены основные направления исследований в области когнитивных дисциплин и человеко-компьютерного взаимодействия, в которых целесообразно применение ай-трекингового оборудования. Показан и частично раскрыт потенциал как стационарной установки (SMI RED250) для применения в лабораторных условиях, так и переносной – головной системы SMI HED50. В настоящее время в Лаборатории идут совместные исследования с Университетом г. Йюенсуу (Восточная Финляндия). В когнитивной лаборатории Университета г. Йюенсуу с 80-х гг. активно разрабатываются вопросы психологии программирования и ай-трекинга в целом. Первым результатом взаимодействия явилась разработка совместного программного обеспечения для определения формы и размера операционного поля зрения программиста – Screen Masker [16].

Высокий интерес к экспериментам с таким оборудованием со стороны будущих магистров кафедры инженерной графики и дизайна СПбГПУ показывает необходимость развития этого направления и в образовательной деятельности, на уровне преподаваемых дисциплин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Аллахвердов В.М.** Сознание как парадокс // Экспериментальная психология. Т. 1. СПб.: ДНК, 2000. 528 с.
2. **Барабанщиков В., Милад М.** Методы окулографии в исследовании познавательных процессов и деятельности. М.: Институт психологии РАН, 1994. 88 с.
3. **Бернштейн Н.А.** О построении движений. М.: Гос. изд-во медицинской лит-ры, 1947. 255 с.
4. **Бернштейн Н.А.** Очерки о физиологии движений и физиологии активности. М.: Медицина, 1966. 349 с.
5. **Величковский В.М.** Когнитивная наука. Основы психологии познания Т. 2. М.: Издат. центр «Академия», 2006. 432 с.
6. **Гиппенрейтер, Ю.Б.** Движения человеческого глаза. М.: МГУ, 1978. 256 с.
7. **Костин А.Н., Голиков Ю.Я., Дикая Л.Г.** Проблемность в профессиональной деятельности: теория и методы психологического анализа. М.: Институт психологии РАН, 1999. 358 с.
8. **Лаптев В.В.** Фигурные диаграммы в инфографике: сфера применения, классификация и правила построения // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Гуманитарные и общественные науки. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2014. № 1 (191). С. 298–306.
9. **Леонтьев А.Н.** Проблемы развития психики. М.: АПН РСФСР, 1965.
10. **Митькин А., Перцева Т.** Опыт экспериментального исследования восприятия бессмысловых композиций. М.: Техническая эстетика, 1970.
11. **Сергеев С.Ф.** Инженерно-психологическое проектирование системы профессиональной подготовки операторов систем слежения, работающих в экстремальных условиях: Дисс. ... канд. психол. наук. Л., 1987.
12. **Филин В.А.** Автоматия саккад [Automaticity of saccadic]. М.: Изд-во МГУ, 2002. 240 с.
13. **Ярбус Л.** Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965. 166 с.
14. **Bednarik R.** Expertise-dependent visual attention strategies develop over time during debugging with multiple code representations // Internat. J. of Human-Computer Studies. 2012. Vol. 70(2). Pp. 143–155.
15. **Bednarik R., Orlov P.A.** Investigating the role of programmers' peripheral vision: a gaze-contingent tool and an experiment proposal // In Psychology of Programming Interest Group PPIG. 2012.
16. **Bednarik R., Myller N., Sutinen E., Tukiainen M.** Analyzing individual differences in program comprehension // Technology, Instruction, Cognition and Learning. 2006. Vol. 3(3/4). 205 p.
17. **Crosby M.E., Stelovsky J.** How do we read algorithms? A case study // Computer. 1990. Vol. 23(1). Pp. 24–35.
18. **Isokoski P., Spakov O., Joos M., Martin B.** Gaze controlled games. Universal Access in the Information Society. 2009. Vol. 8(4). Pp. 323–337.
19. **Gavrilo K.** Analysis of two eyetracking renders of source code reading // In Internat. Workshop at the 13th Koli Calling Internat. Conf. on Computing Education Research. Joensuu: UEF, 2013. Pp. 20–21.
20. **Orlov P.A., Ivanov V.M.** Assessment of level professional competence of the programmers // In 8th edition of the Internat. Conf. on Methods and Techniques in Behavioral research. Utrecht: Noldus, 2012. Pp. 398–402.
21. **Orlov P.A.** Visual evaluation of two eyetracking renders of source code reading // In Internat. Workshop at the 13th Koli Calling Internat. Conf. on Computing Education Research. Joensuu: UEF, 2013. Pp. 33–36.
22. **Orlov P.A., Apraksin N.A.** Gaze contingent computer games – effectiveness // Yabus-100. Internat. Symp. on the Role of Eye Movements in Vision. Russian Academy of Sciences (Kharkevich Institute). 2014.
23. **Seya Y., Watanabe K.** Objective and Subjective Sizes of the Effective Visual Field during Game Playing Measured by the Gaze-contingent Window Method // Internat. J. of Affective Engineering. 2013. Vol. 12(1). Pp. 11–19.

REFERENCES

1. **Allakhverdov V.M.** Soznaniye kak paradox, *Ekspperimentalnaya psikhologika*. St. Petersburg: DNK Publ., 2000, Vol. 1, 528 p. (rus)
2. **Barabanshchikov V., Milad M.** *Metody okulografii v issledovanii poznavatelnykh protsessov i deyatelnosti*. Moscow: Institut psikhologii RAN Publ., 1994, 88 p. (rus)
3. **Bernshteyn N.A.** *O postroyenii dvizheniy*. Moscow: Gosudarstvennoye izdatelstvo meditsinskoy literatury Publ., 1947, 255 p. (rus)
4. **Bernshteyn N.A.** *Ocherki o fiziologii dvizheniy i fiziologii aktivnosti*. Moscow: Meditsina Publ., 1966, 349 p. (rus)
5. **Velichkovskiy B.M.** *Kognitivnaya nauka*,



Osnovy psikhologii poznaniya. Moscow: Izdatelskiy tsentr «Akademiya» Publ., 2006, Vol. 2, 432 p. (rus)

6. **Gippenreyter Yu.B.** *Dvizheniya chelovecheskogo glaza*. Moscow: MGU Publ., 1978, 256 p. (rus)

7. **Kostin A.N., Golikov Yu.Ya., Dikaya L.G.** *Problemnost v professionalnoy deyatelnosti: teoriya i metody psikhologicheskogo analiza*. Moscow: Institut psikhologii RAN Publ., 1999, 358 p. (rus)

8. **Laptev V.V.** *Figurnyye diagrammy v infografike: sfera primeneniya, klassifikatsiya i pravila postroyeniya, Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Gumanitarnyye i obshchestvennyye nauki*. St. Petersburg: SPbGPU Publ., 2014, No. 1 (191), Pp. 298–306. (rus)

9. **Leontyev A.N.** *Problemy razvitiya psikhiki*. Moscow: APN RSFSR Publ., 1965. (rus)

10. **Mitkin A., Pertseva T.** *Opyt eksperimentalnogo issledovaniya vospriyatiya nesmyslovnykh kompozitsii*. Moscow: Tekhnicheskaya estetika Publ., 1970. (rus)

11. **Sergeyev S.F.** *Inzhenerno-psikhologicheskoye proyektirovaniye sistemy professionalnoy podgotovki operatorov sistem slezheniya, rabotayushchikh v ekstremalnykh usloviyakh: diss. kand. psikhol. nauk*. Leningrad, 1987. (rus)

12. **Filin V.A.** *Avtomatiya sakkad [Automaticity of saccadic]*. Moscow: MGU Publ., 2002, 240 p. (rus)

13. **Yarbus L.** *Rol dvizheniy glaz v protsesse zreniya*. Moscow: Nauka Publ., 1965, 166 p. (rus)

14. **Bednarik R.** Expertise-dependent visual attention strategies develop over time during debugging with multiple code representations, *International Journal of Human-Computer Studies*, 2012, Vol. 70(2), Pp. 143–155.

15. **Bednarik R., Orlov P.A.** Investigating the role of programmers' peripheral vision: a gaze-contingent

tool and an experiment proposal, *In Psychology of Programming Interest Group PPIG*, 2012.

16. **Bednarik R., Myller N., Sutinen E., Tukiainen M.** Analyzing individual differences in program comprehension, *Technology, Instruction, Cognition and Learning*, 2006, Vol. 3(3/4), 205 p.

17. **Crosby M.E., Stelovsky J.** How do we read algorithms? A case study. *Computer*, 1990, Vol. 23(1), Pp. 24–35.

18. **Isokoski P., Spakov O., Joos M., Martin B.** Gaze controlled games. *Universal Access in the Information Society*, 2009, Vol. 8(4), Pp. 323–337.

19. **Gavrilo K.** Analysis of two eyetracking renders of source code reading, *In International Workshop at the 13th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*. Joensuu: UEF, 2013, Pp. 20–21.

20. **Orlov P.A., Ivanov V.M.** Assessment of level professional competence of the programmers, *In 8th edition of the International Conference on Methods and Techniques in Behavioral research*. Utrecht: Noldus, 2012, Pp. 398–402.

21. **Orlov P.A.** Visual evaluation of two eye-tracking renders of source code reading, *In International Workshop at the 13th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*. Joensuu: UEF, 2013, Pp. 33–36.

22. **Orlov P.A., Apraksin N.A.** Gaze contingent computer games – effectiveness, *Yarbus-100. International Symposium on the Role of Eye Movements in Vision*. Russian Academy of Sciences (Kharkevich Institute), 2014. (rus)

23. **Seya Y., Watanabe K.** Objective and Subjective Sizes of the Effective Visual Field during Game Playing Measured by the Gaze-contingent Window Method, *International Journal of Affective Engineering*. 2013, Vol. 12(1), Pp. 11–19.

ОРЛОВ Павел Анатольевич – заведующий лабораторией человеко-компьютерного взаимодействия, старший преподаватель кафедры инженерной графики и дизайна Института металлургии, машиностроения и транспорта Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

E-mail: paul.a.orlov@gmail.com

ORLOV, Pavel A. *St. Petersburg Polytechnic University.*

195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.

E-mail: paul.a.orlov@gmail.com

ЛАПТЕВ Владимир Владимирович – доцент кафедры инженерной графики и дизайна Института металлургии, машиностроения и транспорта Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, кандидат искусствоведения.

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.

E-mail: laptevsee@yandex.ru

LAPTEV, Vladimir V. *St. Petersburg Polytechnic University.*
195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.
E-mail: laptevsee@yandex.ru

ИВАНОВ Владимир Михайлович – *заведующий кафедрой инженерной графики и дизайна Института металлургии, машиностроения и транспорта Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, доктор физико-математических наук, профессор.*

195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29.
E-mail: ivm@imop.spbstu.ru

IVANOV, Vladimir M. *St. Petersburg Polytechnic University.*
195251, Politekhnikeskaya Str. 29, St. Petersburg, Russia.
E-mail: ivm@imop.spbstu.ru