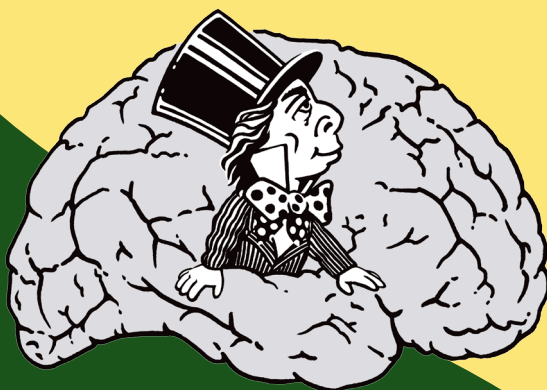


# КОГНИТИВНАЯ НАУКА

В МОСКВЕ



НОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

МАТЕРИАЛЫ  
КОНФЕРЕНЦИИ  
2023

Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман, А.Я. Койфман

УДК 159.9  
ББК 88.25  
К57

Когнитивная наука в Москве: новые исследования. Материалы конференции 21 – 22 июня 2023 г. Под ред. Е.В. Печенковой, М.В. Фаликман, А.Я. Койфман. – М.: ООО «Буки Веди», Московский институт психоанализа. 2023 г. – 604 стр.

© Авторы статей, 2023

ISBN 978-5-4465-3880-5

УДК 159.9  
ББК 88.25

ISBN 978-5-4465-3880-5

© Авторы статей, 2023

## ПОМОГУТ ЛИ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ ВЫБИРАТЬ ОБЪЕКТЫ ВЗГЛЯДОМ?

Ю. Г. Шевцова\* (1, 2), А. Н. Васильев (1, 3), С. Л. Шишкин (1)  
[shevtsova.jg@gmail.com](mailto:shevtsova.jg@gmail.com)

1 – Московский государственный психолого-педагогический университет,  
Москва; 2 – Московский физико-технический институт, Москва;

3 – Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва

**Аннотация.** Для управления компьютером с помощью задержек взгляда необходимо различать намеренные и ненамеренные (спонтанные) задержки. Как ни странно, микродвижения глаз при намеренном использовании взгляда в подобных ситуациях почти не изучались. Лишь недавно был предложен способ распознавания намеренных задержек на основе характеристик микроповедения взгляда с применением машинного обучения, однако его тестировали на данных из эксперимента, где испытуемым приходилось вручную подтверждать наличие намерения отдать команду. Мы получили данные о поведении взгляда при его намеренных и ненамеренных задержках длительностью более 500 мс в эксперименте с «глазоуправляемой» игрой, где подтверждение намерения было интегрировано в процесс «глазоуправления». Применение методов машинного обучения к полученным задержкам взгляда подтвердило возможность успешно предсказывать намерение отдать команду на основе признаков глазодвижительного поведения, предшествовавшего выбору объекта.

**Ключевые слова:** глазоуправление, айтрекинг, видеоокулография, проблема прикосновения Мидаса, микродвижения глаз, намерение выполнить действие, машинное обучение

Исследование поддержано грантом № 22-19-00528 Российского научного фонда.

### Введение

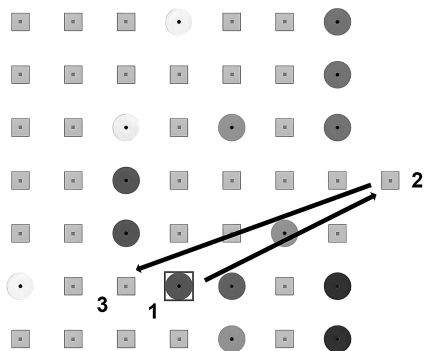
Управление компьютером с помощью взгляда – сравнительно новая технология, в которой чаще всего используется способность человека намеренно задерживать взгляд на некоторых объектах. В качестве критерия наличия намерения выполнить действие используется время задержки взгляда (Duchowski, 2018): если взгляд находится на объекте на экране дольше некоторого порогового значения, совершается его «выбор» – например, нажатие на экранную кнопку. Однако в первую очередь мы используем глаза не для управления компьютером, а для получения зрительной информации. Движения глаз высоко автоматизированы, и пороговое время может быть превышено незаметно для пользователя, что вызовет ошибочный выбор объекта, не связанный

с намерением пользователя отдать команду компьютеру, — это так называемая проблема прикосновения Мидаса (Jacob, 1990). Недавно для ее решения было предложено использовать характеристики глазодвигательного поведения, сопутствующего наличию или отсутствию намерения отдать команду (Isomoto et al., 2022). Однако в эксперименте, в котором тестировался этот метод, испытуемым необходимо было регулярно сообщать, был ли выбор объекта намеренным, что могло внести изменения в глазодвигательное поведение.

В нашей работе мы собрали данные о поведении взгляда при выполнении более естественной задачи, и на их основе обучили классификатор распознавать намерения пользователя совершить выбор.

## Методика

Мы использовали айтрекер EyeLink 1000 Plus (SR Research, Canada) с частотой 1000 Гц. В эксперименте испытуемым было предложено при помощи взгляда делать ходы в «глазоуправляемой» игре *EyeLines* (Ovchinnikova et al., 2021). Игроку необходимо было выстраивать ряды из «шаров» одинакового цвета (рис. 1). Для того, чтобы совершить ход, игрок должен был выбрать «шар», подтвердить намерение его переместить при помощи дополнительной задержки взгляда на специальной области экрана — и затем выбрать место для перемещения. Каждый выбор осуществлялся при помощи задержки взгляда с пороговым значением 500 мс, выявляемой в реальном времени, и сопровождался обратной связью — появлением рамки вокруг шара.



**Рисунок 1.** Пример позиции в игре *EyeLines* с указанием последовательности задержек взгляда, необходимых для совершения хода: 1 — нужный шар (квадратная рамка является индикатором выбора), 2 — область подтверждения, 3 — позиция для перемещения (Ovchinnikova et al., 2021). Расстояние между центрами полей было видно приблизительно под углом  $\sim 1.6^\circ$

Мы проанализировали микродвижения глаз, сопровождающие те задержки взгляда, которые привели к выбору шара в ходе игры. (Под микродвижениями мы здесь понимаем движения глаз в ходе задержки взгляда, определяемой по критерию нахождения взгляда в заданной области). Если выбор был подтвержден, такая задержка считалась намеренной, в противном

случае — ненамеренной. Испытуемые, у которых набралось менее 100 намеренных или ненамеренных задержек взгляда на шарах, были исключены из анализа (в количестве шести человек), и в дальнейшем использовались данные от 39 оставшихся испытуемых. Количество намеренных и ненамеренных задержек взгляда было уравнено путем удаления случайным образом данных того типа, которых было больше.

Мы использовали 67 характеристик (признаков) глазодвигательного поведения, среди которых были связанные с саккадой, предшествующей задержке взгляда на шаре, и связанные с микродвижениями глаз в течение самой задержки взгляда (рис. 2). Во втором случае признаки вычислялись в нескольких временных интервалах, при выборе которых мы попытались учесть особую значимость поздней части задержки.

Испытуемые были случайным образом поделены на обучающую ( $n=31$ ) и тестовую ( $n=8$ ) выборки. Признаки были стандартизованы с использованием их среднего и стандартного отклонений, полученных из обучающей выборки.

Для классификации отдельно использовались линейный дискриминантный анализ, метод опорных векторов (с радиальным базисом и линейный) и метод случайного леса (LDA, RBF SVM, Linear SVM и Random Forest). Гиперпараметры были оптимизированы на обучающей выборке по f1-score в 5-кратной кросс-валидации с использованием метода случайного поиска (Bergstra, Bengio, 2012), реализованного в *RandomizedSearchCV* tool. Во всех вычислениях, относящихся к классификации, мы использовали библиотеку *scikit-learn* (<https://github.com/scikit-learn/scikit-learn>).

## Результаты

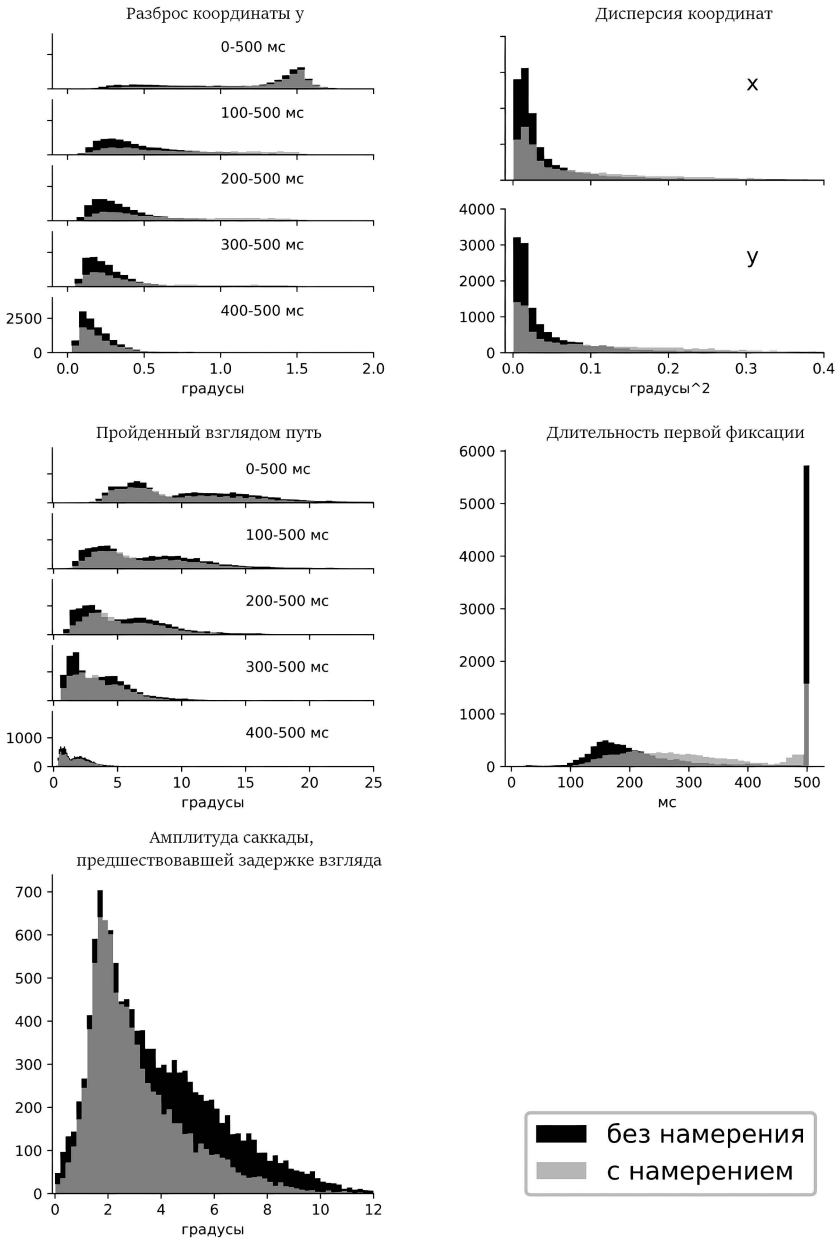
Результаты классификации представлены в табл. 1. Визуальная оценка распределения признаков микродвижений глаз (рис. 2) показывает, что некоторые признаки существенно различались между намеренными и ненамеренными задержками, однако по отдельности признаки не могут обеспечить эффективную классификацию, так как распределения сильно пересекаются для всех признаков.

Таблица 1. Результаты классификации на тестовой выборке ( $N=8$ ),  $M \pm SD$

	Доля правильных ответов (accuracy)	Точность (precision)	Полнота (recall)	F-мера (f1-score)	Площадь под кривой ошибок (ROC AUC)
RBF SVM	.76 ± .05	.70 ± .04	.92 ± .04	.80 ± .03	.76 ± .05
Linear SVM	.76 ± .05	.70 ± .05	.92 ± .04	.79 ± .03	.76 ± .05
LDA	.74 ± .04	.70 ± .04	.89 ± .05	.78 ± .04	.74 ± .04
Random Forest	.74 ± .04	.68 ± .04	.92 ± .04	.78 ± .03	.74 ± .04

Мы сравнили намеренные и ненамеренные задержки по  $T$ -критерию Вилкоксона и выявили 10 наиболее различающихся признаков. После исклю-





**Рисунок 25.** Распределение значений признаков для намеренных и ненамеренных задержек взгляда на шарах. 0 – 50 мс, 100 – 150 мс ... и 0 – 500 мс, 100 – 500 мс ... – соответственно, неперекрывающиеся и перекрывающиеся окна для расчета признаков

чения из них сильно коррелирующих признаков (коэффициент корреляции Пирсона  $> .75$ ) остались 4 признака: суммарная амплитуда микросаккад в окне 250–500 мс, разброс координат  $x$  и  $y$  в окне 300–500 мс и расстояние до центра выбранного шара в окне 450–500 мс. Качество классификации при использовании только этих четырех признаков вместо использовавшихся в основном анализе 67 признаков снизилось незначительно: так, для RBM SVM точность (accуracy) в среднем по группе составила .74 вместо .76, а  $f1$ -score — .78 вместо .8.

## Обсуждение и выводы

Наше исследование длительных задержек взгляда показало, что характеристики задержек, намеренно используемых для «глазоуправления», имеют существенные особенности, что позволяет различать их с использованием машинного обучения. Наши результаты в целом подтвердили выводы работы (Isomoto et al., 2022) о возможности автоматической идентификации намеренных задержек взгляда при «глазоуправлении». «Разметка» данных (указание намеренных и ненамеренных выборов) в нашем случае была интегрирована непосредственно в процесс «глазоуправления», благодаря чему не требовалось переключение на другие модальности взаимодействия и минимизировались различия между признаками при наличии и отсутствии намерения, не связанные собственно с намерением. Показатели качества классификации оказались ниже, чем в исследовании Исомото и соавт. (Isomoto et al., 2022), однако это, вероятно, связано с тем, что мы не использовали размер зрачка, который вносил высокий вклад в классификацию в их работе (мы не использовали этот признак, потому что размер зрачка зависит от факторов, которые не всегда можно контролировать). Существует целый ряд еще не использовавшихся возможностей улучшить классификацию, таких как уточнение деталей выделения и классификации признаков, обучение на больших датасетах, тонкая донастройка классификатора на индивидуальных данных и даже использование сигналов мозгового происхождения (Ovchinnikova et al., 2021), что может обеспечить приемлемое качество классификации. Согласно отчетам участников эксперимента, игра *EyeLines* позволяла им достаточно глубоко погрузиться в процесс «глазоуправления». Тем не менее и в нашем эксперименте от них требовалось подтверждать каждый выбор, что могло изменять поведение взгляда. Поэтому будет особенно важно оценить эффективность метода в экспериментах в реальном времени без такого подтверждения, к которым мы сейчас приступаем. Также будет важно протестировать алгоритмы идентификации намерений, используя более широкий набор реальных задач и более простые и доступные айтрекеры.

Наконец, отметим, что особенности микроповедения взгляда при его намеренном использовании для взаимодействия с техникой могут представлять и фундаментальный интерес — в частности, с точки зрения изучения функций взгляда в коммуникации между людьми, на которые, по-видимому, опирается способность использовать взгляд в управлении техникой.



## Литература

*Bergstra J., Bengio Y.* Random search for hyper-parameter optimization // Journal of Machine Learning Research. 2012. Vol. 13. P. 281 – 305.

*Duchowski A.T.* Gaze-based interaction: A 30 year retrospective // Computers & Graphics. 2018. Vol. 73. P. 59 – 69. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2018.04.002>

*Isomoto T., Yamanaka S., Shizuki B.* Dwell selection with ML-based intent prediction using only gaze data // Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies. 2022. Vol. 6. No. 3. P. 1 – 21. <https://doi.org/10.1145/3550301>

*Jacob R.J.K.* What you look at is what you get: eye movement-based interaction techniques // Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems Empowering people – CHI '90. ACM Press, 1990. P. 11 – 18. <https://doi.org/10.1145/97243.97246>

*Ovchinnikova A.O., Vasilyev A.N., Zubarev I.P., Kozyrskiy B.L., Shishkin S.L.* MEG-based detection of voluntary eye fixations used to control a computer // Frontiers in Neuroscience. 2021. Vol. 15. P. 619591. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.619591>

## COULD THE FEATURES OF EYE MICROMOVEMENTS SUPPORT OBJECT SELECTION BY GAZE?

Y. G. Shevtsova\* (1, 2), A. N. Vasilyev (1, 3), S. L. Shishkin (1)  
[shevtsova.jg@gmail.com](mailto:shevtsova.jg@gmail.com)

1 – Moscow State University of Psychology and Education, Moscow;

2 – Moscow Institute for Physics and Technology, Moscow;

3 – M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow

**Abstract.** Successful gaze interaction based on gaze dwelling time requires effective differentiation between intentional and unintentional (spontaneous) delays. Surprisingly, eye micromovements during the intentional use of gaze for control have been little studied. There is a recent approach to intentional gaze dwell recognition based on machine learning applied to eye micromovements characteristics, but it has been tested on data from an experiment in which participants had to manually confirm the intention to issue a command. We obtained data on gaze behavior during intentional and unintentional dwells of more than 500 ms in an experiment with an “eye-controlled” game, where confirmation of intention was integrated into the interaction. The application of machine learning methods with the gaze dwells confirmed the ability to successfully predict the intention to give a command based on the features related to oculomotor behavior that preceded the selection of an object.

**Keywords:** gaze interaction, eye tracking, Midas touch problem, eye micromovements, intention to select, machine learning

Research supported by the Russian Science Foundation, Grant 22-19-00528.