

АЙТРЕКЕРЫ: НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВАНИЙ И СПОСОБЫ ИХ ПРЕОДОЛЕНИЯ¹

© 2018 г. А. Н. Костин

Доктор психологических наук, ведущий научный сотрудник;

Институт психологии РАН, г. Москва

E-mail: anatolykostin@gmail.com

Неопределенности теоретических оснований современных айтрекеров существенно ограничивают адекватность получаемых с их помощью результатов. Показано, что в основе этих неопределенностей лежит нестрогость понятия «фиксация глаз». При поиске способов преодоления выявленных ограничений в статье проанализированы необычные свойства саккад, найденные отечественными исследователями. Показано, что саккады можно рассматривать как индикатор циклов регуляции деятельности, а длительность межсаккадических интервалов – как параметр их оценки. Излагается концепция фазового айтрекера.

Ключевые слова: айтрекер, фиксации глаз, саккады, незрительные задачи, циклы регуляции, межсаккадические интервалы

Современные технологии регистрации перемещения взгляда человека, получившие название айтрекинга (eye-tracking) или видеоокулографии, получили сейчас достаточно широкое распространение в различных областях как фундаментальной, так и практической психологии (Барабанщиков, Жегалло, 2013; Величковский, 2006). Этому способствует как наличие многих фирм-разработчиков айтрекеров, которых становится все больше, так и достаточная простота использования и наглядность получаемых результатов. Тем не менее, при

¹ Государственное задание ФАНО РФ № 0159-2018-0001

использовании айтрекеров существуют серьезные неопределенности в теоретических основаниях, которые приводят к существенной неадекватности получаемых результатов. Анализ этих неопределенностей и разработка способов их преодоления и является целью данной статьи.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ ФИКСАЦИЙ ГЛАЗ

Одним из главных параметров при анализе глазодвигательной активности является *длительность фиксации глаз*. В связи с этим общепринятое теоретическое обоснование айтрекеров заключается в том, что во время фиксации взгляда человек воспринимает и анализирует визуальную информацию, которая в значительной степени детерминирует его мыслительные процессы. Считается, что наиболее наглядно их отражают зрительные маршруты, фиксирующие перемещения взгляда.

Другим видом результатов являются *зоны внимания* (или иначе тепловые карты), которые рассматриваются по относительному количеству или средней длительности фиксации взгляда на разных областях зрительного поля за определенный период времени. Кстати, выбор критерия для построения зон внимания является произвольным и ничем теоретически не обосновывается.

Более сложный подход к оценке длительностей фиксации глаз для анализа особенностей восприятия предложен Б.М. Величковским в рамках разработанного им метода ландшафтов внимания. Суть метода заключается в оценке двух уровней перцептивных процессов – амбьентного и фокального внимания – с помощью выделения двух диапазонов длительностей фиксации глаз (Величковский, 2006). Им полагается, что на первом уровне осуществляются глобальная ориентация в пространстве и локализация объектов, а на втором уровне – детальное восприятие и идентификация предметов. Диапазон длительностей

фиксации взгляда величиной 100–250 миллисекунд характеризует первый уровень, а диапазон примерно 250–500 миллисекунд – второй уровень. По результатам анализа строятся два вида тепловых карт для фиксаций, попадающих в разные диапазоны, что дает наглядное представление о характере процессов внимания на этих уровнях при решении зрительных задач.

Теперь рассмотрим более детально само понятие «фиксация глаз». Начнем с того, что термин «фиксация» предполагает закрепленность, неподвижность чего-либо. Однако, как известно, глаза никогда не останавливаются, они могут быть либо медленными, дрейфовыми, либо быстрыми, саккадическими (скачкообразными). Как отмечает Ю.Б. Гиппенрейтер, «фиксация неподвижного объекта человеком при специальной инструкции проходит в режиме своеобразного *динамического равновесия, а не в идеальной статической форме, как того требует задача* (курсив наш. – А.К.). Такой вид фиксационного действия является результатом комбинации сознательных усилий субъекта и активности низкоуровневых центров. Они, как и всякие другие автономные системы, включенные в решение задачи, реализуют наши сознательные усилия и в то же время диктуют свои нормы» (Гиппенрейтер, 1978, с. 26–27).

В связи с постоянными движениями глаз под фиксацией понимают их относительную стабильность за сравнительно короткий период времени, в течение которого рассматривается часть внешнего пространства в пределах фовеальной области зрения. В айтрекерах можно задавать два параметра выделения фиксаций – предельный угловой размер и минимально необходимый временной интервал, которые ограничивают «фиксационные» движения глаз (обычно 2 угловых градуса и 200 миллисекунд). Понятно, что такая произвольность приводит к

неоднозначностям при выделении как самих фиксаций, так и оценке их длительности.

Еще одной теоретической неопределенностью, связанной с фиксациями глаз, является известный факт, что при смене восприятия на осмысление информации возникают такие психологические явления как «отстройка от ситуации», «мысленное представление», «внутренний взор» (Зинченко и др., 1975), «внутреннее зрение» (Гиппенрейтер, 1978). Все перечисленные явления объединены одним общим эффектом – во время их возникновения человек смотрит, но не видит, т. е. его глаза направлены на тот или иной внешний объект, но он его не замечает. Например, в случае глубокой задумчивости человек, идя по улице, может наткнуться на препятствие, которое находится непосредственно перед ним и на которое направлен его взгляд.

Глаза в случае рассматриваемых явлений совершают медленные, дрейфовые движения, которые либо находятся в окрестности некоторой точки, либо образуют протяженные и сложные по форме траектории. В зависимости от особенностей возникающей траектории эти движения соответственно могут интерпретироваться, во-первых, как длительные фиксации, продолжающиеся одну, две и более секунд, во-вторых, наоборот, как отсутствие фиксаций или как последовательность из нескольких коротких и длительных «псевдофиксаций».

Таким образом, для преодоления отмеченных теоретических неопределенностей при использовании айтрекеров необходимо перейти от достаточно искусственного и противоречивого понятия «фиксации глаз» к анализу свойств реальных движений глаз – дрейфов и саккад. При этом фиксации глаз могут использоваться как нестрогий, дополнительный параметр при анализе процессов восприятия визуальной информации.

САККАДЫ И ИХ СВОЙСТВА

При анализе движений глаз прежде всего рассмотрим свойства саккад. Их особая роль в дискретизации поступления зрительной информации, цикличности ее переработки и самого процесса видения показана в работах отечественных исследователей. Уже стала классической и признана за рубежом книга А.Л. Ярбуса (1965), в которой подробно раскрыта роль саккад в задачах зрительного восприятия. В то же время отметим и более поздние фундаментальные исследования свойств саккад, выполненные Ю.Б. Гиппенрейтер и ее сотрудниками (1973, 1975, 1976, 1978), а также работы В.А. Филина (1975, 2002), так как полученные в них результаты являются уникальными и, по нашему мнению, до сих пор не имеют мировых аналогов.

Саккады представляют собой быстрые, скачкообразные движения глаз, продолжающиеся сотые доли секунды и имеющие амплитуду от нескольких угловых минут до 60 градусов; скорость глаз в процессе скачка сначала плавно нарастает примерно до середины, а затем убывает, ее максимальная величина для 20-градусной саккады составляет 450 градусов в секунду (Гиппенрейтер, 1976; Митрани, 1973; Филин, 2002; Ярбус, 1965).

Саккадические движения могут быть произвольными и произвольными. Произвольные саккады предназначены для целенаправленного, осознанного управления взглядом, например, его наведения на объект или перевода с одной точки на другую. Непроизвольные саккады в отличие от произвольных не контролируются и не осознаются человеком; причины их возникновения различны, например, при фиксации неподвижной точки они корректируют, возвращают взгляд обратно после дрейфовых движений, уводящих глаза от фиксируемой точки, а при слежении за движущимся объектом эти саккады компенсируют отставание взгляда от объекта. Особым видом

непроизвольных саккад являются рефлекторные саккады, которые возникают в ответ на внешний раздражитель, прежде всего зрительный или звуковой.

Соотношение между видами саккад в определенной степени зависит от характера выполняемой деятельности. Например, при осуществлении многократных переводов взгляда между какими-то объектами произвольные саккады будут превалировать над непроизвольными. Однако если перед человеком не стоит специально такая задача, т. е. в большинстве жизненных ситуаций, то количество непроизвольных саккад значительно превзойдет число произвольных скачков. Более того, хотя амплитуда произвольных саккад может быть гораздо больше, чем у непроизвольных, интервалы между саккадами обоих видов находятся в одинаковом диапазоне (Филин, 2002).

С внешней стороны дрейфы и скачки образуют чередующиеся циклы, которые состоят из медленной и быстрой фаз (Гиппенрейтер, 1978). Саккада и дрейф, как отмечал А.А. Митькин, – это простейшие, генетически заданные виды движений, из которых складывается «двигательная ткань» взаимодействия субъекта восприятия с объектом (Митькин, 1988). С помощью циклов саккада – дрейф, согласно данным В.А. Барабанщикова, достигается цель перцептивной активности (Барабанщиков, 1990).

По мнению многих исследователей, саккады ограничивают отдельные циклы восприятия, т. е. делают этот процесс дискретным. Окончание каждой саккады и мигания, как отмечал А.Л. Ярбус, представляет собой момент начала «нового процесса видения», и они совершаются для «обновления зрения» (Ярбус, 1965, с. 93). По мнению Ю.Б. Гиппенрейтер, в микроскачках проявляется процесс «периодического возобновления произвольного контроля в ходе решения любой задачи» (Гиппенрейтер, 1978, с. 24). Отмечая дискретную природу зрительного восприятия, которое осуществляется циклично, определенными квантами, В. А. Филин

считал, что «существенным подтверждением такого представления являются данные о саккадическом подавлении: человек видит только в промежутке между саккадами, в момент же самой саккады наступает торможение зрительного процесса» (Филин, 2002, с. 61). При этом саккады можно рассматривать и как «естественный квантизатор зрительных событий» (Белопольский, 2007, с. 326).

На инвариантность саккад указывает их универсальный характер, так как они возникают не только в процессе зрительных, но и незрительных задач (умственных, двигательных, слуховых, тактильных) (Гиппенрейтер, 1978; Гиппенрейтер и др., 1976). Более того, саккады сохраняются в темноте, при закрытых глазах, у спящего человека (в парадоксальных стадиях сна, которые, кстати, и детектируются по факту возникновения саккад) и у слепых (если потеря зрения произошла не в детском возрасте, а в зрелые годы), т. е. когда движения глаз формально теряют смысл (Филин, 2002).

Основываясь на полученных экспериментальных результатах, В.А. Филиным была разработана концепция *автоматии саккад* (Филин, 2002). Под автоматией саккад понимается «свойство глазодвигательного аппарата совершать быстрые движения глаз (саккады) непроизвольно в определенном ритме» (там же, с. 221). По его мнению, глаза работают в активном режиме, постоянно перемещаясь из стороны в сторону, т.е. сканируют окружающую видимую среду, а не пассивно реагируют на события. В привычных условиях «саккада часто является первичной, а картина, которую видит глаз – вторичной. Иными словами, глаза „не знают“ заранее, куда их занесет очередная саккада. Внимание подключается лишь в том случае, если глаз обнаруживает в окружающей среде нечто интересное, и лишь тогда осуществляется осознание рассматриваемого объекта» (там же, с. 221–222). Кроме того, В.А. Филин полагает, что «постоянное сканирование окружающего пространства

позволяет человеку получать ценную информацию об общей ситуации и об отдельных деталях и, в целом, надежно ориентироваться» (там же, с. 46).

Автоматия саккад подобна другим автоматическим системам (дыхательной, сердечной, пищеварительной), хотя ритм следования саккад менее строгий, чем у дыхания или сердечной деятельности. По данным разного рода экспериментов, полученным В.А. Филиным, саккады генерируются через 0,2–0,6 секунды независимо от характера глазодвигательной активности. «Это, так называемый, рабочий режим автоматии саккад, который наблюдался у испытуемых с нормальным зрением, у слабовидящих, у слепых, при косоглазии и при патологии мозга» (там же, с. 220). Тем самым, «саккадические движения глаз обусловлены постоянно идущими в определенном ритме эфферентными посылками. Причем афферентный приток от сетчатки не является определяющим фактором в ритмической работе структур мозга, ответственных за такую ритмику, так как отсутствие притока не приводит к исчезновению саккад у слепых, а также не вызывает заметного уменьшения числа саккад у зрячих при регистрации движений глаз в темноте» (там же, с. 10).

Чрезвычайно важным и интересным является и тот факт, что распределение интервалов между саккадами у разных людей в различных условиях (при фиксации неподвижной точки на свету и мнимой точки в полной темноте, при наличии и отсутствии объекта восприятия, во время сна и бодрствования, у слепых и зрячих, у взрослых и младенцев и т. д.) и даже у животных (например, у кролика при свободном поведении) имеет примерно одинаковую форму во всем диапазоне и подчиняется Пуассоновскому закону (Филин, 2002). В результате сделан вывод, что *«частота саккад является некоей константой (курсив наш. – А.К.)* и в повседневной жизни имеет место только изменение ориентации и

амплитуды саккад, а интервал остается практически неизменным» (там же, с. 221).

Еще одним важным свойством саккад является *увеличение интервалов между ними при возрастании сложности решаемых задач, а точнее, субъективной сложности деятельности* (Буякас, Линде, 1976; Гиппенрейтер, 1978; Романов, 1973; Филин, 2002). Как отмечалось в работе Ю.Б. Гиппенрейтер, «наряду с произвольностью–непроизвольностью (автоматичностью) перцептивных актов можно выделить другую, хотя и сходную их характеристику: *степень субъективной напряженности или сложности* (курсив наш. – А.К.). Это свойство относится преимущественно к произвольным перцептивным действиям, так как непроизвольные акты обычно протекают „легко“, „сами собой“» (Гиппенрейтер, 1978, с. 178). Заметим, что в некоторых работах указывается на аналогичные зависимости для длительности фиксаций, дрейфов и медленных фаз движений глаз, но, по сути, эти параметры эквивалентны длительности интервалов между саккадами, так как фиксации при этом рассматриваются как малоамплитудные дрейфы, синонимом которых являются медленные движения глаз, а саккады всегда прерывают или ограничивают эти дрейфы.

В.Я. Романовым совместно с Ю.Б. Гиппенрейтер указанная зависимость была обнаружена при решении зрительных задач на выделение замаскированных или зашумленных геометрических фигур при исследовании фиксационного оптокинетического нистагма (ФОН), который представляет собой циклические непроизвольные движения глаз при фиксации точки на фоне движущихся вертикальных черно-белых полос (Гиппенрейтер, 1978; Романов, 1973). Так, обнаружено, что «в периоды глубокой задумчивости отмечаются затяжные фиксации, сопровождающиеся иногда дрейфами, эти дрейфы определяются активностью низкоуровневого центра, который в ситуации "отключения

зрения" высвобождается из-под влияния высших окуломоторных центров» (Гиппенрейтер, 1978, с. 232). Кроме того, длительные дрейфы возникают в случае состояний «пустого взора», которые сопровождаются «в фиксациях повышенной длительности, сочетающихся с повышенной скоростью произвольных дрейфов при чтении сложного текста» (там же, с. 233). При этом «траектории движений глаз по объекту при "пустом взоре" и внимательном рассматривании могут быть практически одинаковы; фиксации повышенной длительности могут возникать как при напряженной зрительной работе, так и в периоды умственного сосредоточения, когда внимание "уходит внутрь"» (там же, с. 142).

С увеличением интервалов между саккадами связан и эффект их подавления при свободном глазодвигательном поведении, который был обнаружен Т.М. Буякас и Н.Д. Линдой в задачах незрительных модальностей – слуховых, тактильных, двигательных (Буякас, Линде, 1976). Отмечается, что данный эффект вызывается не зрительными причинами, а связан с процессом решения задач.

В свою очередь, увеличение интервалов между саккадами было выявлено В.А. Филиным в задачах, связанных как со зрительной, так и умственной нагрузкой (Филин, 2002). Например, количество саккад при максимальной зрительной нагрузке (при опознании малых объектов) резко уменьшается, в то время как амплитуда дрейфа значительно увеличивается. Аналогичное уменьшение количества саккад происходит и в случае возрастания умственной нагрузки при концентрации внимания. При этом было даже сформулировано некоторое «правило: напряженная зрительная деятельность подавляет генерацию саккад, а отдых – провоцирует их появление» (там же, с. 78).

Результаты анализа пустого взора, полученные В.А. Филиным, во многом подобны изложенным выше данным Ю.Б. Гиппенрейтер. Он отмечал, что когда «нет необходимости в зрительном восприятии, как это

бывает при некоторых видах умственной нагрузки, то нет необходимости и в перемещении объекта по сетчатке, и как следствие, происходит уменьшение числа саккад и стабилизация дрейфа. В данном случае *глаз смотрит, но не видит* (курсив наш. – А.К.), и даже не замечает перемещение точки на 1 угловой градус. Следовательно, само наличие саккад указывает на некоторое расслабление, на отдых, на релаксацию, а отсутствие саккад – на мобилизацию умственной деятельности на конкретной мысли» (там же, с. 135).

Увеличение интервалов между саккадами в зависимости от субъективной сложности задач, как показали эксперименты, может достигать значительных величин. Так, в исследованиях Ю.Б. Гиппенрейтер с сотрудниками при решении зрительных задач, рассчитанных на произвольные и напряженные зрительные действия, зафиксировано «увеличение длительности медленных фаз ФОКН (т. е. интервалов между саккадами. – А.К.) до 10, 20 и более секунд (курсив наш. – А.К.) – значения, неизвестные нам ранее для фиксационных движений глаз» (Гиппенрейтер, 1978, с. 182). Например, *средняя* (не максимальная!) длительность дрейфов ФОКН при выделении замаскированной фигуры составила 18,100 секунды, а при работе с зашумленными квадратами – 17,972 секунды (там же, с. 184, 186).

Аналогичные величины максимальных интервалов между саккадами, но уже при решении умственных задач (без необходимости фиксации какой-либо точки) получен В.А. Филиным: длительность этих интервалов доходила «до 30, 40, а иногда и 60 секунд» (Филин, 2002, с. 128; курсив наш – А.К.). Что касается минимальной длительности межсаккадических интервалов, то, по его данным, это значение составляет 0,03 секунды (Филин, 1975, 2002). Следовательно, общий диапазон изменения интервалов между саккадами составляет очень значительную величину от 0,03 секунды до 30 секунд и более. Таким образом, влияние субъективной

сложности задач приводит к изменению межсаккадических интервалов более чем в тысячу раз! Можно полагать, что столь значительное изменение данного параметра при переходе через некоторые пороговые значения обязательно должно сопровождаться сменой качественного содержания процессов деятельности, например, при переходе от одного уровня сложности регуляции к другому.

Таким образом, к важнейшим свойствам саккад можно отнести их универсальный характер – они возникают как в зрительных, так и незрительных задачах.

Вторым важным свойством является автоматия саккад, которая выражается в сканировании окружающего пространства в определенном ритме. При этом для разных людей частота следования саккад является примерно постоянной, а сами они генерируются через 0,2–0,6 секунд.

Третье свойство саккад, которое необходимо выделить, состоит в увеличении интервалов между ними при возрастании субъективной сложности деятельности. При этом величины этих интервалов находятся в диапазоне от 0.03 до 60 секунд. Столь значительная вариативность интервалов между саккадами в 2000 раз неизбежно должна быть связана с качественными изменениями психических процессов деятельности.

САККАДЫ КАК ИНДИКАТОРЫ СТРУКТУРНЫХ ЕДИНИЦ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Особый интерес представляют свойства саккад при решении незрительных задач, когда они являются индикаторами структурных единиц деятельности. Так, при решении графических задач было обнаружено совпадение быстрых фаз ФОКН с моментами завершения некоторых графических элементов (Гиппенрейтер, Пик, 1973; Гиппенрейтер и др., 1976; Гиппенрейтер, 1975, 1978). Эксперименты заключались в том, что испытуемые с помощью карандаша чертили на

бумаге определенные фигуры, возрастающие по сложности (вертикальные и ломаные линии, прямоугольные узоры, пирамиды, а также воспроизводили знакомый маршрут). При этом они должны были фиксировать неподвижную точку на экране перед собой на фоне перемещающихся вертикальных полос и не смотреть на руку.

Пример экспериментальных данных, полученных при воспроизведении знакомого маршрута в трех пробах, представлен на рисунке 1. На этом рисунке отчетливо видно, что саккады совпадают с началом и окончанием каждого элемента маршрута.

В связи с тем, что каждый скачок ФОКН приходился на окончание какого-то движения, между двумя соседними скачками оказывалась некоторая группа или объединение графических элементов («блоки» движений). В итоге был сделан вывод, что «периоды деятельности, «отделяемые» последовательными скачками ФОКН, подчиняются тем же закономерностям, что и макроструктурные единицы деятельности» (Гиппенрейтер, 1978, с. 211), поэтому эффект увеличения интервалов между саккадами «может быть положен в основу объективного метода анализа временной структуры деятельности» (там же, с. 237).

В работе Т.М. Буякас и Н.Д. Линде показано, что свойство саккад как индикаторов структурных единиц деятельности, обнаруженное при ФОКН, сохраняется и в режиме *свободного поведения глаз* (Буякас, Линде, 1976). При этом отмечалось, что «периоды затяжных дрейфов при решении двигательных задач в режиме свободного поведения глаз отражают структурные единицы этой деятельности. Такими единицами, по-видимому, можно считать частные действия. Скачки же глаз, прерывающие дрейфы, означают окончание этих единиц» (там же, с. 83). С точки зрения сравнения структурных единиц, выделяемых в режиме свободного поведения (СП) глаз и ФОКН, было выдвинуто предположение, что «медленные фазы ФОКН соответствуют более мелким единицам

деятельности, чем затяжные дрейфы в режиме СП, возможно, относящиеся к иному иерархическому уровню» (там же, с. 86).

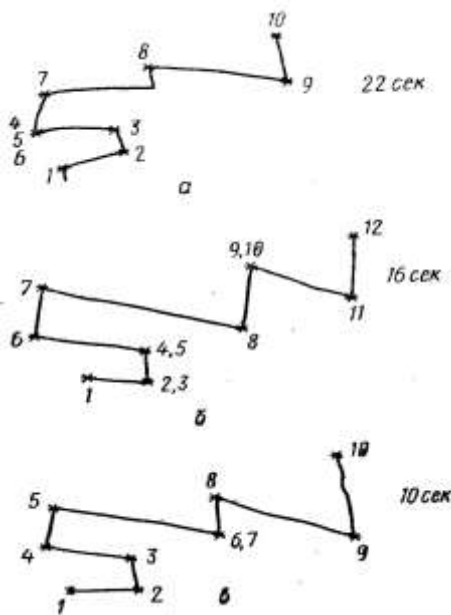


Рис. 1. Фрагмент экспериментальных данных по воспроизведению карандашом на бумаге знакомого маршрута в трех разных пробах (Гиппенрейтер и др., 1976, с. 63).

Примечание: а – первая проба, б – пятая проба, г – ускоренный темп; пронумерованными точками отмечены моменты возникновения саккад; справа около каждой рисунка приводится время выполнения пробы (в секундах).

В одной из статей Ю.Б. Гиппенрейтер с соавт. для обозначения некоторых «блоков» движений был введено понятие «интерсаккадические единицы деятельности» (уточняющее другое понятие «интерсаккадические периоды деятельности», введенное здесь же) в силу того, что «периоды деятельности, отделяемые последовательными саккадическими движениями ФОКН, подчиняются тем же закономерностям, что и макроструктурные единицы деятельности» (Гиппенрейтер и др., 1976, с. 65). Указанные периоды представляют «часть процесса решения задачи в период между двумя саккадическими движениями (курсив наш. – А.К.) или, что то же самое, в течение одной медленной фазы ФОКН» (там же, с. 56). При этом отмечено, что данный

термин может быть распространен и на режим свободного поведения глаз. Однако в дальнейших публикациях указанных авторов этот термин не использовался.

В заключительной части монографии Ю.Б. Гиппенрейтер сделано важное обобщение, суть которого заключается в следующем. Ежедневная в течение многих лет реализация глазом десятков тысяч саккад, которые ограничивают каждый цикл приема и переработки информации, приводит к возникновению устойчивой связи между ними. В результате саккада возникает «после окончания любого «кванта» процесса регуляции, даже если последний не использует зрительную информацию (курсив наш – А.К.)» (Гиппенрейтер, 1978, с. 238). Теряя свое непосредственное функциональное назначение в незрительных условиях, саккады продолжают выполнять очень важную методическую роль *индикаторов временной структуры деятельности*.

Проблема выделения единиц деятельности имеет серьезные теоретические трудности. Применительно к теории деятельности А. Н. Леонтьева открытым является вопрос о выделении единиц разных уровней – действий и операций – в реальных условиях. Как справедливо отмечала Ю.Б. Гиппенрейтер, «глазные движения могут быть индикаторами сложных форм деятельности, только если учитываются многообразные и многоуровневые процессы, которые «проецируются» на эти движения или в них отражаются» (Гиппенрейтер, 1978, с. 10), поэтому достаточно логичен и общий вывод, что «разработка объективных индикаторов структурных единиц деятельности должна не только опираться на существующие представления, но и развивать их, если, конечно, найденные индикаторы достаточно чувствительны и адекватны» (там же, с. 237).

Применительно к айтрекерам из приведенных результатов и обобщений можно сделать несколько важных выводов.

Во-первых, айтрекеры можно использовать для анализа не только зрительных задач, но и незрительных (прежде все мыслительных) видов деятельности. Этот вывод очень важен, т.к. зрительные задачи играют сопоставимую или даже дополнительную роль с процессами мышления в большинстве видов профессиональной деятельности.

Во-вторых, значимыми показателями являются не традиционно измеряемые направление взгляда и длительность фиксации глаз, а саккады и интервалы между ними. Сами саккады при этом являются индикаторами определенных элементов деятельности, что требует специально теоретической интерпретации.

В-третьих, для адекватной регистрации саккад необходимо принципиальное изменение алгоритмов их выделения в программном обеспечении большинства современных айтрекеров. В этих алгоритмах саккадами считаются отрезки прямых линий между фиксациями. Понятно, что адекватность такого выделения саккад невелика. В то же время, в силу того, что саккады представляют высокоскоростные движения глаз, наиболее адекватные результаты их выделения, известно, дают алгоритмы, построенные на определении превышения некоторого порогового значения скорости. Такие айтрекеры в отличие от обычных можно назвать *фазовыми айтрекерами*.

САККАДЫ КАК ИНДИКАТОР ЦИКЛОВ РЕГУЛЯЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Рассмотрение саккад как индикаторов элементов деятельности, как уже отмечалось, требует специальной теоретической интерпретации. Такая интерпретация была сделана нами совместно с Ю.Я. Голиковым в рамках концепции проблемностей, раскрывающей особенности психической регуляции деятельности (Костин, Голиков, 2014). В данной

концепции, в частности, полагается, что саккады являются индикатором *циклов регуляции*.

Не вдаваясь в их детальное описание, отметим только, циклы регуляции обладают следующими свойствами. Во-первых, длительность циклов регуляции отражает сложность и временной масштаб регуляционных процессов на разных уровнях; во-вторых, на каждом уровне длительность циклов регуляции характеризуется определенным диапазоном изменения; в-третьих, указанные диапазоны увеличиваются при переходе от низшего к высшему уровню; в-четвертых, диапазоны соседних уровней регуляции накладываются друг на друга, и границы между ними размыты.

Перечисленным свойствам циклов регуляции в значительной степени соответствуют свойства саккад и интервалов между ними или, иначе говоря, *межсаккадических интервалов (МСИ) движений глаз*. Перечислим еще раз эти признаки и свойства:

во-первых, универсальный характер саккад и их способность быть индикатором структурных единиц деятельности или «квантов» регуляции;

во-вторых, зависимость длительности МСИ от субъективной сложности деятельности;

в-третьих, существование определенного ритма генерирования большинства саккад в обычных условиях в диапазоне 0,2–0,6 секунды, выделенное В. А. Филиным в рамках концепции автоматии саккад.

Однако в связи со значительной величиной общего диапазона изменения интервалов между саккадами в зависимости от субъективной сложности деятельности можно предположить, что существуют (подобно ритмам ЭЭГ) и другие ритмы саккад (т.е. промежуточные диапазоны МСИ), определяющие временной масштаб циклов регуляции на разных уровнях.

В этом случае каждый уровень регуляции будет характеризоваться определенным диапазоном изменения МСИ с размытыми границами.

Следовательно, есть достаточно оснований полагать, что в силу своих инвариантных свойств *саккады могут являться индикаторами циклов регуляции, а длительность межсаккадических интервалов – параметром их оценки на разных уровнях.*

Напомним, что близкие по смыслу к МСИ понятия «интерсаккадические периоды или единицы деятельности» вводились в одной из статей Ю.Б. Гиппенрейтер с соавт. (Гиппенрейтер и др., 1976). Кроме того, понятие «межсаккадический интервал» использовалось В.И. Белопольским как параметр движений глаз, зависящий от типа выполняемого задания и скорости его предъявления в различных режимах чтения (Белопольский, 2007).

Понятие «длительность межсаккадических интервалов» свободно от неоднозначностей, присущих понятию «длительность фиксации», так как в нем отсутствует привязка к зрительному или незрительному характеру деятельности, а также не предъявляется требование к неподвижности или ограничение на амплитуду перемещений глаз. В то же время иногда ошибочно отождествляют МСИ и фиксации взгляда (Барабанщиков, Жегалло, 2013). По сути, МСИ являются временным параметром *дрейфовых движений* глаз, но само понятие отражает их не амплитудно-пространственный, а фазовый аспект.

Основная проблема при разработке процедур оценки МСИ заключается в определении величин диапазонов их изменения, которые соответствуют разным уровням психической регуляции. С этой целью нами была проведена модификация одного из алгоритмов таксономии (Костин, Голиков, 2014). Исходный массив МСИ был получен по результатам экспериментальных исследований разных видов операторской деятельности.

В связи с тем, что эти исследования были начаты более 25 лет назад, когда айтрекеры были дорогостоящей редкостью и обладали невысокими характеристиками, для регистрации движений глаз применялся метод электроокулографии (ЭОГ). При этом выделение саккад происходило при превышении порога скорости 5 градусов в секунду.

Оценка адекватности результатов таксономии МСИ и корректировка ее алгоритма осуществлялась с помощью сопоставления с качественным анализом регуляции с помощью метода анализа проблемностей (Костин, Голиков, 2014). Итоговые параметры таксонов для пяти уровней регуляции приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры таксонов МСИ для пяти уровней психической регуляции деятельности

№	Уровни психической регуляции	Таксоны МСИ (секунды)
1	Непосредственного взаимодействия	0,03–1,0
2	Опосредованной координации	0,9–2,0
3	Программно-целевой организации	1,9–5,0
4	Личностно-нормативных изменений	4,6–11,5
5	Мировоззренческих коррекций	>10,7

Принципиальность полученных результатов таксономии заключалась в том, что выявленные диапазоны МСИ *оказались одинаковыми для разных людей и не зависели от вида деятельности*. Таким образом, подтвердился *инвариантный характер МСИ как индикаторов циклов регуляции*. В то же время данные результаты позволяют полагать существование не одного, как показано В.А. Филиным, а, по меньшей мере, *пяти ритмов следования саккад*.

Отметим, что к первому уровню в полученных экспериментальных данных относилась большая часть МСИ. Это согласуется с результатами В.А. Филина, обобщенных в гистограммах распределения интервалов

между саккадами в условиях фиксации неподвижной точки, в которых эти интервалы длительностью менее одной секунды составляют более 90% (Филин, 2002, с. 31).

Полученные результаты стали основой *метода таксономии МСИ движений глаз*. Его целью является количественная оценка уровней регуляции при анализе различных видов профессиональной деятельности. Эта оценка осуществлялась посредством отнесения каждого из регистрируемых МСИ к определенному таксону с помощью его сравнения со значениями границ таксонов. Таким образом, наличие таксонов переводит количественную оценку длительностей МСИ (по величине) в качественную (по номерам таксонов, т. е. уровням регуляции). В том случае, если МСИ попадает в область размытости между двумя соседними таксонами, то и таксон данного МСИ считается нечетко определенным.

Таксономическое соотнесение величин МСИ позволяет в реальном масштабе времени строить графическое представление макродинамики индивидуальной деятельности в виде двух циклограмм. Их пример приведен на рисунках 2 и 3.

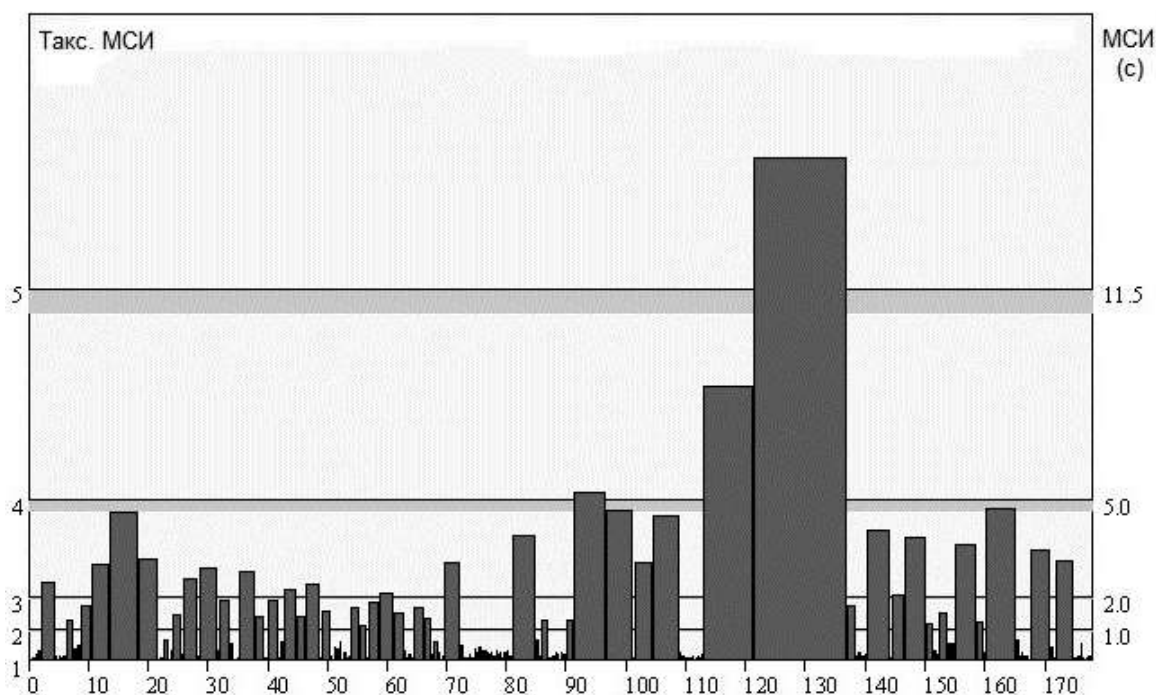


Рис. 2. Пример циклограммы длительностей МСИ

В первой циклограмме длительностей МСИ на горизонтальной оси откладывается время индивидуальной деятельности (в секундах), на левой вертикальной оси – верхняя и нижняя границы таксонов, а на правой – длительность МСИ (также в секундах) (см. рисунок 2). Размытости границ соседних таксонов обозначены в виде серых полос разной величины (для границ между первым и вторым, а также вторым и третьим таксонами эти размытости почти не видны из-за их малой величины). Сама циклограмма имеет вид последовательностей столбцов разной высоты и ширины, которые определяется величиной длительности МСИ, только высота столбца представляется в укрупненном масштабе. По тому, в какой диапазон между границами таксонов попадает столбец, изображающий величину конкретного МСИ, видно, к какому таксону этот МСИ относится. Если же столбец попадает в серую полосу размытости, то МСИ считается нечетко определенным.

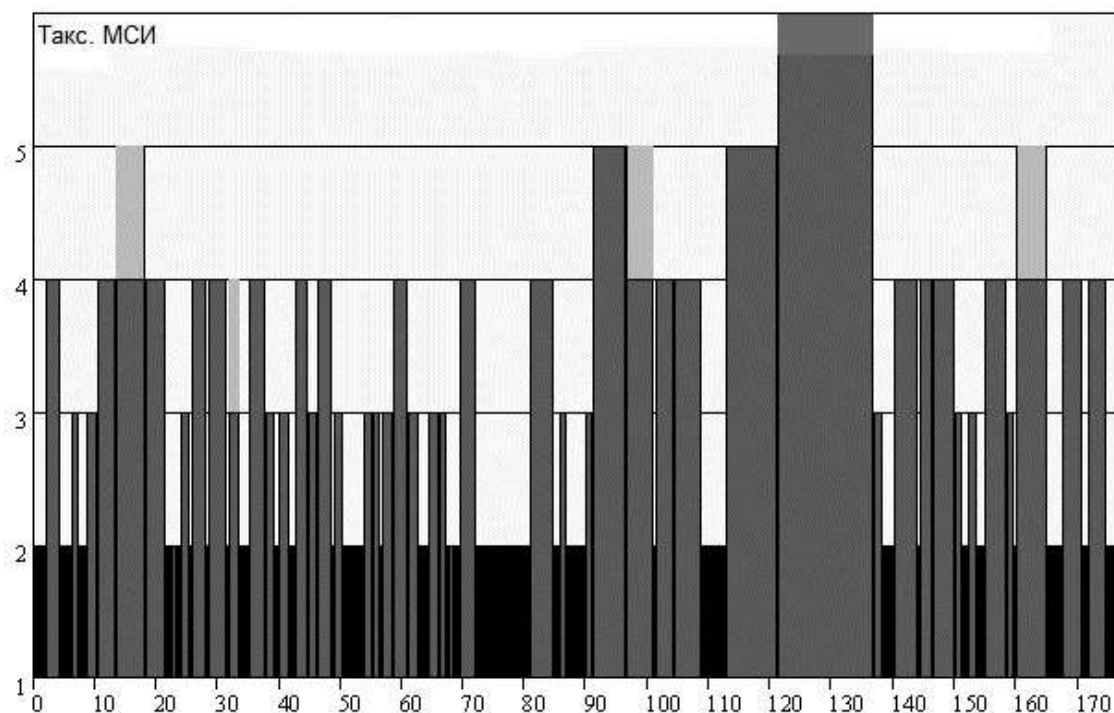


Рис. 3. Пример циклограммы таксонов МСИ

Во второй циклограмме таксонов МСИ на горизонтальной оси также откладывается время индивидуальной деятельности (в секундах), а на вертикальной оси – номера таксонов (см. рисунок 3). Данная циклограмма тоже имеет вид последовательностей столбцов разной высоты и ширины: ширина столбца определяется величиной длительности МСИ, а высота столбца – номером таксона МСИ. Размытость или нечеткое определение таксона конкретного МСИ на циклограмме изображается в виде более светлых прямоугольников между соседними уровнями в верхней части соответствующих столбцов.

Таким образом, если в первой из циклограмм представлены измеренные величины длительностей МСИ, а их таксоны определяются визуально по попаданию в тот или иной диапазон между соответствующими границами, то во второй циклограмме таксоны возникших в деятельности МСИ изображены непосредственно.

Следовательно, оба вида циклограмм при анализе результатов взаимно дополняют друг друга.

Результаты многолетних исследований с применением метода таксономии МСИ подробно изложены в нашей монографии (Костин, Голиков, 2014). В то же время данный метод может быть реализован и на другой технологии регистрации движений глаз – фазовых айтрекеров, а не ЭОГ. В силу близости характеристик этих технологий получаемые результаты должны быть сопоставимы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из основных теоретических неопределенностей современных айтрекеров является использование в качестве основного понятия «фиксация глаз». Условность этого понятия связана с тем, что глаза никогда не останавливаются, а все время совершают быстрые, саккадические или медленные, дрейфовые движения. В связи с этим используемые в айтрекерах алгоритмы выделения фиксаций глаз обладают некоторой произвольностью.

Другая теоретическая неопределенность айтрекеров заключается в неприменимости понятия «фиксация глаз» для обнаружения эффектов отстройки от ситуации, внутреннего взора и подобных им, возникающих при осмыслении информации. Соответственно, и алгоритмы выделения фиксаций глаз работают неадекватно.

Полученные в работах отечественных исследователей результаты по необычным свойствам саккад позволяют преодолеть указанные теоретические неопределенности и предложить иной подход к использованию айтрекеров. К указанным свойствам относятся: универсальный характер саккад, которые возникают как в зрительных, так и незрительных задачах; автоматия саккад, выражающаяся в

сканировании окружающего пространства в определенном ритме; увеличение интервалов между саккад при возрастании субъективной сложности деятельности. Особо следует выделить свойство саккад являться индикаторами структурных единиц деятельности, квантов и циклов регуляции в зрительных и незрительных задачах. Основываясь на приведенных свойствах саккад, можно сделать вывод, что помимо традиционных зрительных задач айтрекеры можно использовать и для анализа незрительных видов деятельности. При этом значимыми показателями являются не фиксации глаз, а саккады и интервалы между ними. Однако для адекватной регистрации саккад необходимо реализовать алгоритмы их выделения в айтрекерах по превышению порога скорости движений глаз. Такие фазовые айтрекеры могут стать перспективным средством психологических исследований

Продуктивность использования саккады как индикатор циклов регуляции деятельности доказана в наших работах с Ю.Я. Голиковым (Костин, Голиков, 2014). При этом длительность межсаккадических интервалов является параметром оценки циклов регуляции, а разные уровни психической регуляции характеризуют выделенные диапазоны (таксоны) изменения МСИ.

Разработанный на этой основе метод таксономии МСИ движений глаз позволяет проводить количественную оценку уровней регуляции при выполнении индивидуальной деятельности в реальном масштабе времени. Несмотря на то, что в многолетних исследованиях с помощью данного метода для регистрации движений глаз использовалась технология ЭОГ, его можно реализовать и в фазовых айтрекерах.

ЛИТЕРАТУРА

Барбанщиков В.А. Динамика зрительного восприятия. М.: Наука, 1990.

- Белопольский В.И.* Взор человека: механизмы, модели, функции. М.: Изд-во "Институт психологии РАН", 2007.
- Барабанчиков В.А., Жегалло А.В.* Регистрация и анализ направленности взора человека. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2013.
- Буякас Т.М., Линде Н.Д.* Эффект подавления саккадических движений глаз в процессе деятельности // Восприятие и деятельность. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. С. 68–86.
- Величковский Б.М.* Когнитивная наука: Основы психологии познания. В 2 т. М.: Смысл–ИЦ «Академия», 2006. Т. 1, 2.
- Гиппенрейтер Ю.Б.* О месте движений глаз в незрительных видах деятельности // Моторные компоненты зрения. М.: Наука, 1975. С. 213–221.
- Гиппенрейтер Ю.Б.* О движении человеческого глаза. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978.
- Гиппенрейтер Ю.Б., Пик Г.Л.* Фиксационный оптокинетический нистагм как показатель участия зрения в движениях // Исследование зрительной деятельности человека. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. С. 69–83.
- Гиппенрейтер Ю.Б., Романов В.Я., Самсонов И.С.* Метод выделения единиц деятельности // Восприятие и деятельность. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. С. 55–67.
- Зинченко В.П., Вдовина Л.И., Гордон В.М.* Использование функциональной структуры процесса решения комбинаторных задач // Моторные компоненты зрения. М.: Наука, 1975. С. 191–192.
- Костин А.Н., Голиков Ю.Я.* Организационно-процессуальный анализ психической регуляции сложной деятельности. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2014.
- Митрани Л.* Саккадические движения глаз и зрение. София: Изд-во Болгарской академии наук, 1973.

Митькин А.А. Системная организация зрительных функций. М.: Наука, 1988.

Романов В.Я. Исследование свойств перцептивного зрительного процесса методом ФОКН // Исследование зрительной деятельности человека. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1973. С. 42–68.

Филин В.А. О механизме произвольных скачков глаз и их роли в зрительном восприятии // Моторные компоненты зрения. М.: Наука, 1975. С. 69–101.

Филин В.А. Автоматия саккад. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002.

Ярбус А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965.

EYE-TREKERS: UNCERTAINTIES OF THEORETICAL BASES AND WAYS OF THEIR OVERCOMING

© 2018 Anatoly N. Kostin

*Sc. D. (psychology), Leading researcher,
Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, Moscow
E-mail: anatolykostin@gmail.com*

The uncertainties of the theoretical foundations of modern eye-trackers significantly limit the adequacy of the results obtained with their help. It was shown that at the heart of these uncertainties lies the rigidity of the notion of "eye fixation". When searching for ways to overcome the identified limitations, the article analyzes the unusual properties of saccades found by Russian researchers. It was shown that saccades can be regarded as an indicator of activity regulation cycles, and the duration of intersaccadic intervals is a parameter of their evaluation. The concept of a phase eye-tracer is proposed.

Keywords: eye-tracer, eye fixation, saccades, invisible tasks, regulation cycles, intersaccadic intervals

Библиографическая ссылка на статью:

Костин А.Н. Айтрекеры: неопределенности теоретических оснований и способы их преодоления // Институт психологии Российской академии наук. Организационная психология и психология труда. 2018. Т. 3. № 2. С. 27-53.

Адрес статьи:

<http://work-org-psychology.ru/engine/documents/document358.pdf>