

УДК.612.821.8, 591.185

Е.К. АЙДАРКИН, А.Н. СТАРОСТИН

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С МАНИПУЛЯТОРОМ «МЫШЬ» ПРИ РАБОТЕ С ЭЛЕКТРОННЫМИ УЧЕБНЫМИ РЕСУРСАМИ

Были рассмотрены особенности работы с манипулятором «мышь» как формы дискретного преследующего слежения. Предложены расчетные параметры дискретного слежения. Выделены субнавыки в составе общего навыка слежения. Предложены расчетные индексы оценки субнавыков. Сформулирован метод оценки эффективности работы с манипулятором «мышь» в процессе работы с электронным учебным ресурсом. Метод апробирован в тестовых условиях дискретного слежения. Показана его чувствительность к изменению текущего функционального состояния и уровня обученности.

Ключевые слова: реакция слежения, время реакции, электронное обучение, эффективность деятельности

E.K. AYDARKIN, A.N. STAROSTIN

ESTIMATION OF OPERATOR PERFORMANCE PARAMETERS WHILE WORKING WITH COMPUTER MOUSE IN E-LEARNING

Were considered operator work with computer mouse as discrete tracking task. Proposed parameters of a discrete tracking. Subskills allocated as part of the general skill tracking. A calculation indexes evaluation subskills. Formulate a method of estimation of operator performance parameters while working with computer mouse in e-learning. The method was tested in a lab environment. Was shown its sensitivity to changes in the current functional state and skill levell.

Key words: tracking task, reaction time, e-learning, performance efficiency

Введение

Введение образовательных стандартов третьего поколения значительно увеличило долю самостоятельной работы студентов, которая предполагает широкое использование электронных учебников и учебных пособий. Важным элементом современных требований к качеству деятельности является создание объективных методов контроля эффективности деятельности студентов и уровня сформированности общекультурных и профессиональных компетенций. Одной из важнейших профессиональных компетенций являются использование современной аппаратуры и вычислительных средств, компьютерных технологий при сборе, хранении, обработке, анализе и передаче информации и т. д. В настоящее время в рамках образовательного процесса отсутствуют объективные методы контроля сформированности данной компетенции, которая, в частности, зависит от уровня обученности и функционального состояния обучающегося.

Длительная работа с электронными образовательными ресурсами приводит к развитию состояния утомления, которое связано с ухудшением функционального состояния (ФС), что, соответственно, приводит к снижению эффективности работы (скорость решения текущих задач) с электронными ресурсами, ухудшает процесс обучения, наносит вред здоровью обучающегося. В связи с этим перед современными существующими и разрабатываемыми электронными обучающими ресурсами (ЭОР) возникает задача контроля ФС в процессе работы с ЭОР, которое рассматривается как соотношение эффективности деятельности и уровня напряжения обучающегося, в рамках нормативных требований к уровню обученности и здоровья [2]. Помимо этого, также существует необходимость контроля качества работы обучающегося (количество ошибок), которое в конечном счете характеризует надежность его функционирования. Решением комплекса этих задач является создание системы психофизиологической поддержки процесса обучения, которая складывается из ряда основных компонентов – оценки эффективно-

сти и качества работы, уровня текущего ФС обучающегося в процессе работы с ЭОР.

Важным показателем сформированности навыков работы с компьютерными и информационными технологиями может быть использована оценка эффективности работы обучающегося с органами управления компьютера, среди которых наиболее важными является клавиатура (ввод текстовой и цифровой информации и пр.), и манипулятор «мышь» (открытие и закрытия окон графической среды пользователя, выбор отдельных элементов при работе с графической средой приложений и т. д.).

В данной работе предлагается разработка метода оценки эффективности деятельности обучающегося при работе с манипулятором «мышь» (ММ) при выполнении самостоятельной работы на базе электронных учебных пособий.

С одной стороны, компьютерная «мышь» (или просто «мышь») представляет собой устройство, преобразующее механические перемещения на горизонтальной плоскости в движения курсора на экране компьютера. Наибольшее распространение на данный момент имеют «мыши», основанные на использовании светодиодов – оптические светодиодные мыши. Такие «мыши» обладают большим пространственным и временным разрешением, что позволяет использовать их для детального и точного анализа траекторий движения при работе с графической пользовательской средой, которые могут отражать уровень сформированности того или иного профессионального навыка.

С другой стороны, каждое действие мышью можно разделить на несколько важных фрагментов – выбор элемента графической среды, перемещение курсора мыши в пределы выбранного элемента, щелчок левой или правой клавишей мыши для выполнения необходимого действия. Событие щелчок той или иной клавишей мыши является ключевым событием, которое в подавляющем большинстве случаев можно трактовать как достижение пользователем ЭОР границ нужного элемента. В стандартной ситуации использования мыши для выбора того или иного действия применяется левая клавиша. Данный режим использования «мыши» хорошо описывается такой известной экспериментальной парадигмой, как дискретное преследующее слежение [1], в которой испытуемый выступает в

качестве оператора, характеризующегося как определенным алгоритмом принятия решения (внешний стереотип), так и набором когнитивных процессов, обеспечивающих его формирование и реализацию (внутренний стереотип).

Дискретное преследующее слежение представляет собой последовательность отрезков времени, в течение которых цель появляется в случайно заданных координатах на экране на заданное количество времени. Со стороны испытуемого в этом случае можно выделить следующие этапы выполнения задания отслеживания:

- обнаружение появления цели;
- распознавание взаимного пространственного расположения курсора и цели;
- определение параметров реакции совмещения (направление, величина смещения и скорость смещения);
- осуществление смещения до совмещения прицела с целью;
- оценка ошибки совмещения.

Если ошибка совмещения недопустима, то весь фрагмент повторяется, если величина ошибки допустима, то испытуемый переходит в ожидание следующего акта смещения цели.

На первом этапе испытуемый обнаруживает появление цели на экране. Второй этап можно рассматривать как этап распознавания, в этом случае испытуемый определял соотношение координат курсора и цели. Третий этап – этап подготовки двигательного ответа – в этом этапе испытуемый определяет направление, скорость и величину смещения необходимого для совмещения. На четвертом этапе испытуемый осуществляет совмещение, перемещая прицел с рассчитанными им параметрами смещения. На пятом этапе, если параметры совмещения оказались достаточно адекватными взаимному расположению цели и прицела, то перемещение прицела прекращается и совмещение достигается за одно движение; если имеется ошибка совмещения, то может производиться корректирующее смещение, в этом случае процесс повторяется, начиная со второго этапа [8].

При решении задач, требующих совместных действий глаз и руки, часто принято рассматривать глаз как выполняющий подчиненную роль относительно движения руки. Движения глаз при этом несут функцию зрительной афферентации движений рук. Однако, как показали неко-

торые авторы [7], необходимо также рассматривать непосредственный тип согласования между движением глаз и движением руки, аналогичный тому, который имеет место при согласованных движениях двух рук. Исследователи выделяют два типа согласования движений глаз и руки — прямой (непосредственный) и опосредованный. Смена одного типа согласования на другой происходит в зависимости от расстояния между целью и курсором. Если курсор расположен достаточно близко от цели, т. е. задача слежения решается в «ближней» зоне, то используется опосредованное согласование, при этом для расчета траектории движения руки до совмещения курсора с целью используется симультанная оценка взаимного расположения цели и курсора.

При действии в «дальней» зоне, т. е. когда расстояние между курсором и целью больше поля зрения, что не позволяет одновременно оценить их взаимное расположение, действует прямой тип согласования движений глаз и руки [7]. При этом происходит скачок глаза от курсора прямо на цель и последующее движение руки. Такое движение глаз с последующей фиксацией на цели обеспечивает необходимую информацию (проприоцептивные сигналы и эффекторные команды к движению) о координатах куда нужно перевести курсор. По данным авторов граница между «ближней» и «дальней» зонами располагается на расстоянии 6–7° от цели.

Варьирование уровня ФС обучающегося при выполнении реакции слежения может быть сформировано с помощью изменения темпа по-

дачи пусковых стимулов, что соответствует изменению длительности межстимульного интервала [3–6].

Указанные выше механизмы, участвующие в реализации реакции слежения, позволяют разработать методы контроля эффективности и качества работы с «мышью», оценить динамику текущего ФС обучающегося, что и явилось целью настоящей работы.

Оценка эффективности навыка использования компьютерной «мыши»

На эффективность и качество работы с ММ оказывают влияние два основных фактора — уровень навыка владения ММ и текущее функциональное состояние. В рамках одной сессии работы уровень навыка меняется незначительно и основное влияние на эффективность работы с ММ оказывает ТФС. В ситуации контроля эффективности работы пользователя ЭОР при многократном выполнении работы, следует учитывать эффект тренировки, приводящей к повышению уровня навыка владения ММ. Таким образом, уровень реализации навыка в работе с ММ может быть рассмотрен как производное от текущего уровня обученности и текущего уровня функционального состояния (ТФС).

$$Ef = f(N, Fs),$$

где Ef — регистрируемая эффективность деятельности; N — уровень развития навыка; Fs — текущее функциональное состояние.

Дискретное слежение может быть описано определенным набором параметров (таблица).

Параметры дискретного слежения

Название	Расчет	Описание
Время реакции	$RT = T_m - T_s$	RT — время реакции; T_s — момент времени подачи стимула; T_m — момент времени начала движения
Время совмещения	$SPT = T_o - T_{sp}$	SPT — время совмещения; T_o — момент прекращения экспозиции цели в текущих координатах; T_{sp} — момент совмещение курсора с целью, при условии не выхода курсора за пределы цели до конца экспозиции цели
Время движения	$MT = T_{sp} - T_m$	MT — время движения; T_{sp} — момент совмещение курсора с целью, при условии не выхода курсора за пределы цели до конца экспозиции цели; T_m — момент времени начала движения
Относительная длина траектории	$L_n = S_r / S$	L_n — относительная длина траектории; S_r — пройденный путь; S — кратчайшее расстояние между курсором и целью на момент начала экспозиции цели
Точность совмещения	$A = S_{co} / R_o$	A — точность в диапазоне от 0 (граница цели) до 1 (центр цели); S_{co} — расстояние от центра курсора до центра цели на момент прекращения экспозиции цели; R_o — радиус цели
Скорость совмещения	$V = S_r / MT$	V — скорость движения цели; S_r — пройденный путь; MT — время движения

Условия использования ММ устанавливает приоритет в первую очередь, точности совмещение курсора с целью и во вторую своевременности совмещения. Быстрое, но неточное движение, приводящее к прохождению курсора через цель с дальнейшим выходом за ее пределы, а также точное, но медленное совмещение, при котором совмещение координат наступает уже после прекращения экспозиции цели, являются случаями неудачного выполнения инструкции. Таким образом, удачное выполнение слежения связано с несколькими отдельными субнавыками и один и тот же конечный результат слежения может достигаться за счет разных субнавыков.

Опираясь на стадии слежения в ЭАС можно выделить следующие субнавыки:

Сенсорный субнавык – сюда относится обнаружение появления цели или определение цели из множества доступных, оценка взаимного расположения курсора и цели, принятие решения о направлении движения. Таким образом, используя имеющиеся расчетные параметры, уровень сенсорного субнавыка можно выразить следующим выражением:

$$N_s = \frac{1}{RT},$$

где N_s – уровень реализации навыка; RT – время реакции.

Сенсомоторный субнавык совмещения – определяет способность выполнять движение в нужном направлении, с необходимой скоростью и совмещать курсор с целью до полного перекрытия, при этом большое значение имеет обратная зрительная связь, позволяющая испытуемому контролировать адекватность перемещения курсора на всех стадиях движения, а также оценивать результативность совмещения по окончании движения.

Используя полученные расчетные параметры уровень реализации сенсомоторного субнавыка совмещения можно выразить следующим выражением:

$$N_{sm} = \frac{A}{MT} \frac{1}{L_n},$$

где N_{sm} – уровень реализации сенсомоторного навыка; A – конечная точность совмещения; MT – время движения; L_n – относительная длина траектории.

На рис.1 представлена общая схема работы метода.

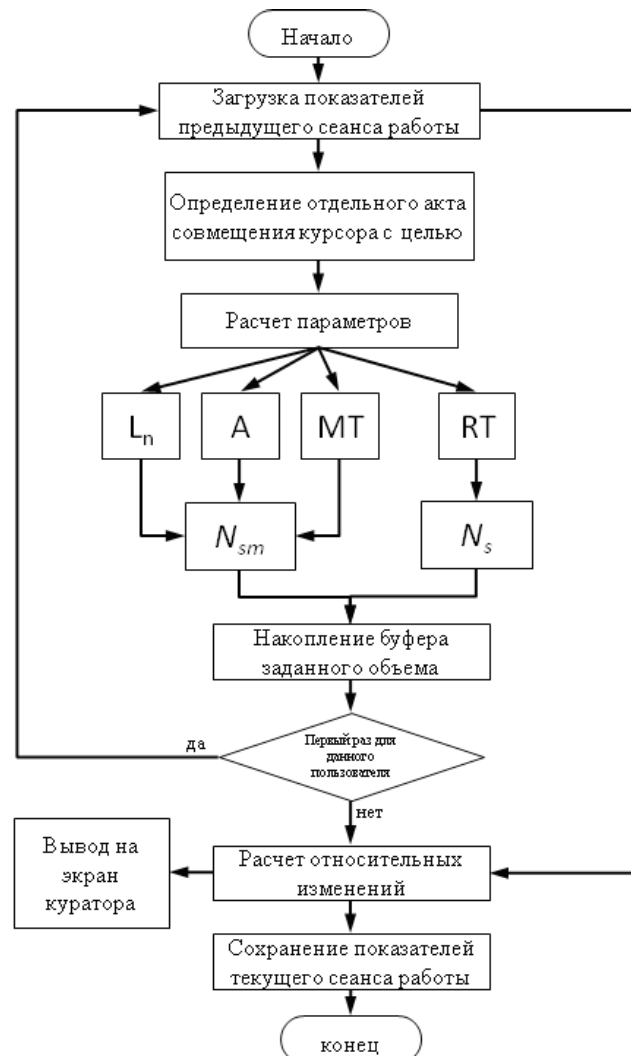


Рис. 1. Общая схема работы метода оценки эффективности работы с ММ

Анализ данных субнавыков позволяет более детально оценить эффективность работы с ММ чем простая оценка первичных параметров дискретного слежения. Сравнение с показателями, полученными на предыдущем занятии с ЭОР, позволяет оценить динамику субнавыков в процессе обучения.

Экспериментальная проверка предлагаемого метода была проведена с использованием ситуаций, моделирующих разные уровни ТФС (подача целевых стимулов с различными МСИ) и разные уровни навыка владения ММ (многодневные тестирования с выполнением слежения левой рукой).

Методика

В исследовании принимало участие 15 человек на первом этапе и 8 человек на этапе пролонгированного исследования.

В течение записи испытуемые находились в положении сидя перед экраном компьютера на расстоянии 80 см. Перед началом исследования испытуемый ознакомился с инструкцией. На экране предъявляется стимул («цель») – белый круг диаметром 1 см. При помощи компьютерной мыши испытуемый мог управлять «курсором» в виде креста темного цвета. Подача очередного стимула на экран происходила в одном из восьми направлений, на расстоянии 100 пикселей от курсора (верх, низ, слева, справа и по диагонали). Поставленная задача – максимально быстро и точно совместить курсор с целью. После совмещения курсор должен был полностью находиться в пределах круга – «цели». Разрешение экрана 1024 на 768 пикселей при диагонали 42,5 см. Частота вертикальной развертки 85 Гц.

Первый этап состоял из 5 тестовых процедур, отличающихся друг от друга межстимульным интервалом (МСИ), задача выполнялась правой рукой:

Слежение с МСИ 9 с, в течение 10 мин.

Слежение с МСИ 5 с, в течение 10 мин.

Слежение с МСИ 3 с, в течение 5 мин.

Слежение с МСИ 2 с, в течение 5 мин.

Слежение с МСИ 1 с, в течение 5 мин.

В данных экспериментальных процедурах динамика МСИ изменяла текущее ФС [3–6] и моделировала такие режимы, как напряженная деятельность (короткие МСИ), монотонная нагрузка (большие МСИ) и оптимальная работа (средние МСИ).

На втором этапе исследовалось влияние процесса тренировки на эффективность работы с «мышью». Каждый испытуемый выполнял задачу слежения левой рукой в течение 6 дней, по одному сеансу в один день. Продолжительность одного сеанса – 40 мин.

Регистрировались моменты времени подачи стимулов и координаты цели и курсора на экране в течение всего времени тестирования. Из этих данных вычислялись такие параметры, как: время реакции, время совмещения, время движения, длина траектории, точность совмещения и скорость движения. На основе средних значений параметров слежения рассчитывались ин-

дексы сенсорного и сенсомоторного субнавыков.

Результаты

На рис. 2 показаны зависимости вычисляемых параметров слежения от МСИ.

Из рисунка видно, что при увеличении МСИ от 1 до 9 с ВР возросло на 150 мс, демонстрируя его линейный характер, эти изменения ВР хорошо согласуются с известными результатами по росту ВР от МСИ на простых стимулах, полученными в том числе в нашей лаборатории [4,5,6]. При этом снижалось время совмещения курсора с целью, что составило 120 мс на используемом диапазоне МСИ. Длина траектории движения курсора достоверно не изменялась, имея тенденцию снижения 10 % при МСИ 2, 5, 9 с. При увеличении МСИ наблюдалось снижение точности совмещения и рост скорости. По скорости движения курсора можно было выделить три группы результатов: с низкой скоростью, порядка 165 пкс/с при МСИ 1 и 2 с; со средней скоростью, порядка 180 пкс/с при МСИ 3 и 5 с; с высокой скоростью, порядка 185 пкс/с при МСИ 9 с. В целом наблюдалась тенденция к росту скорости движения при увеличении МСИ.

По данным параметрам были рассчитаны показатели субнавыков (рис. 3).

Видно, что уровень сенсорного навыка с ростом МСИ снижается. Уровень сенсомоторного субнавыка совмещения не имеет четкой закономерности от МСИ и в целом повторяет зависимость длины траектории. По данным рисункам можно сделать вывод, что изменение МСИ сказывается в первую очередь на сенсорном субнавыке, изменения в реализации субнавыка совмещения, которыми испытуемые, видимо, пытаются скомпенсировать снижение уровня сенсомоторного субнавыка, оказывается значительно менее выраженным.

Так как динамика обучения подвержена сильной индивидуальной изменчивости, ее анализ производится отдельно для каждого испытуемого. На рис. 4 показана динамика расчетных параметров слежения в течение 6 занятий для успешно обучавшегося испытуемого. Видно, что такие расчетные параметры, как время совмещения и точность, имеют достоверную тенденцию к росту. Учитывая, что к максимизации значения именно этих параметров должен стремиться

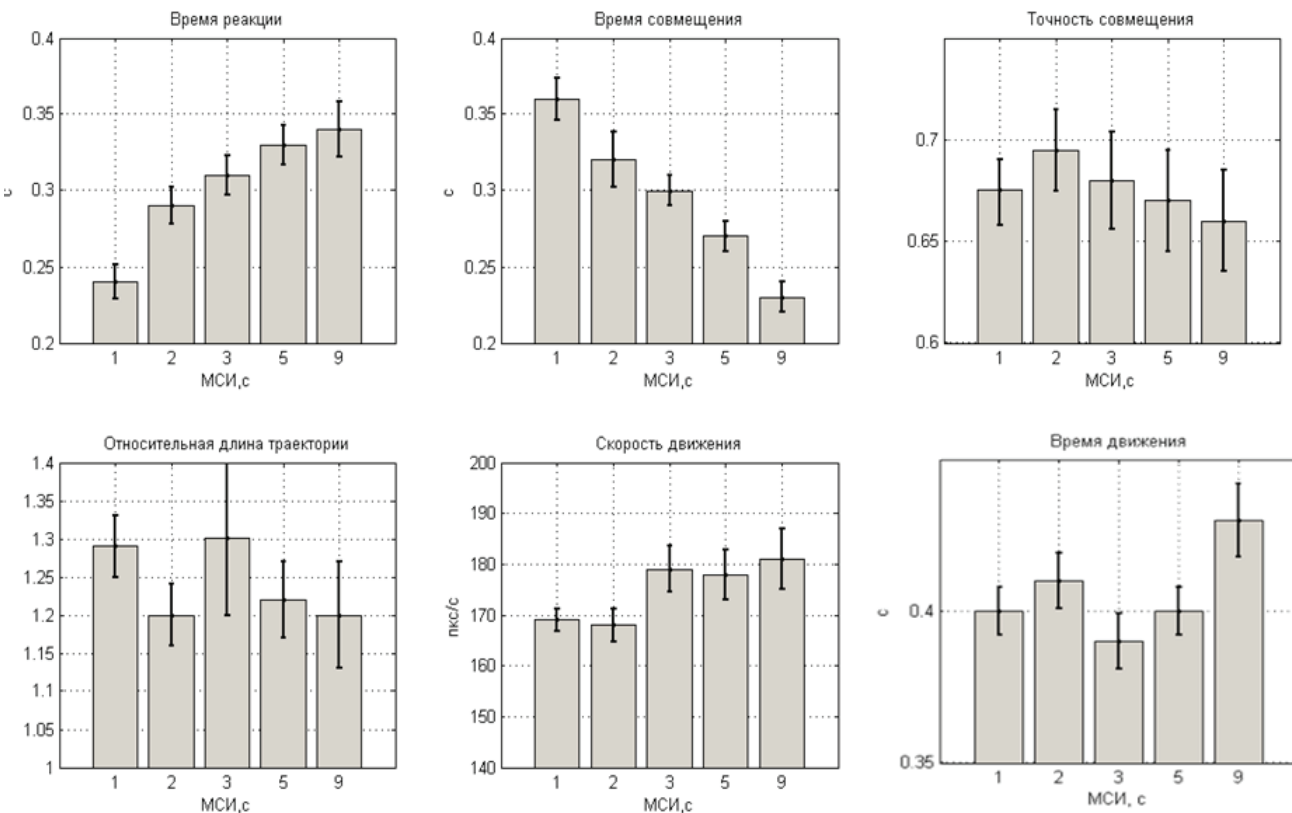


Рис. 2. Зависимость параметров слежения от МСИ. По оси абсцисс – значение МСИ; Обозначения: по оси абсцисс – МСИ в секундах, по оси ординат – значения параметров слежения

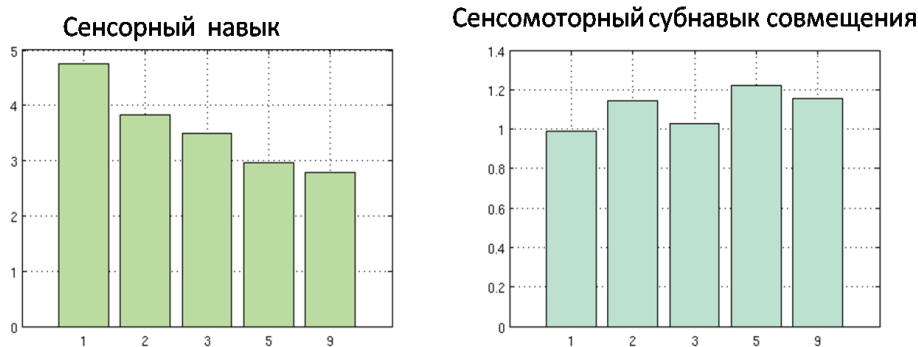


Рис. 3. Зависимость уровней выраженности субнавыков от МСИ. Слева уровень сенсорного субнавыка; справа –сенсомоторного субнавыка. Обозначения: по оси абсцисс – МСИ в секундах, по оси ординат – значения уровня субнавыка в условных единицах

ся испытуемый согласно инструкции, то указанная динамика и является основанием для утверждения об успешности обучения данного испытуемого. При этом динамика точности и времени совмещения позволяет выделить три стадии: первоначальный рост, плато, продолжение роста. Для параметра МТ также просматривает-

ся линейная тенденция к снижению значения по мере обучения, что указывает на то, что испытуемый с каждым занятием тратит все меньше времени на осуществление движения. Из рис. 4 видно, что по мере развития навыка улучшается точность, снижается скорость и увеличивается время совмещения. Длина траекто-

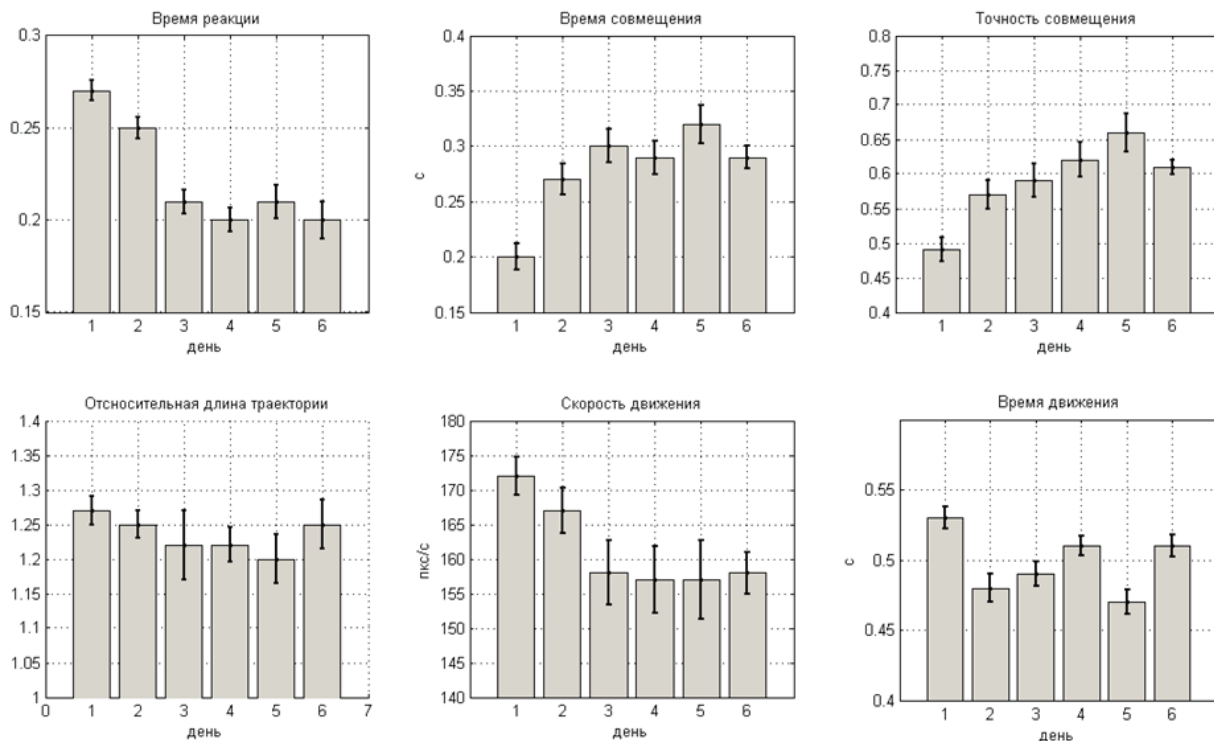


Рис. 4. Динамика параметров слежения в течение 15 занятий у успешного испытуемого. Обозначения: по оси абсцисс порядковый номер занятия; по оси ординат – значение параметра

рии меняется в сторону уменьшения. Время реакции уменьшается в среднем на 50 мс.

В целом видно, что все итоговые показатели слежения (точность и время совмещения) улуч-

шаются по мере тренировки. Время реакции стабилизируется уже на 3-й день.

На рис. 5 представлены вычисленные значения уровней развития субнавыков.

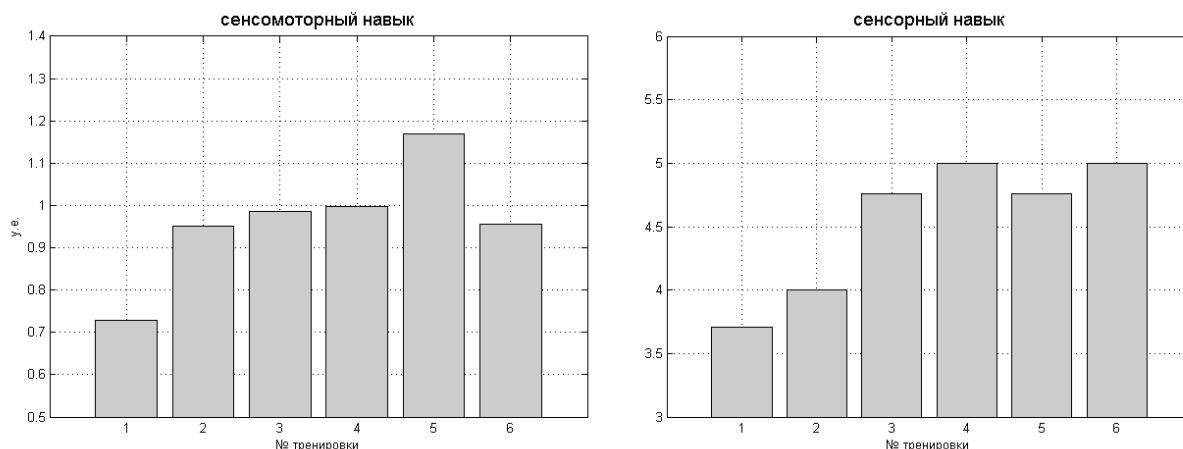


Рис. 5. Индексы уровня субнавыков слежения – слева сенсорного субнавыка; справа – сенсомоторного субнавыка. Обозначения: по оси абсцисс – порядковый номер занятия, по оси ординат – значения уровня субнавыка в условных единицах

Видно что, динамика сенсорного навыка повторяет динамику ВР и выходит на плато уже к третьей тренировке. Сенсомоторный навык растет по мере увеличения числа тренировок.

Обсуждение

Параметры движения в дискретном слежении могут быть описаны с использованием известного закона Фиттса [10,11], постулирующего, что время, затрачиваемое на достижение цели, является функцией расстояния до объекта – цели и ее размера. При этом свой закон Фиттс вывел для прямолинейных движений. Как было показано позже, расстояние до цели влияет в основном на первую фазу движения – баллистическую, а размер цели влияет преимущественно на вторую стадию – фазу коррекции [9]. В случае если размер цели не меняется, основным фактором, определяющим параметры движения к цели, будет расстояние до нее. Однако данные рассуждения верны, если считать уровень реализации навыка неизменным, что не соблюдается в ситуации длительной работы или в процессе обучения.

Тестовая серия с МСИ позволила промоделировать влияние напряженного состояния и монотонно подобного состояния на параметры слежения при неизменном уровне навыка, неизменном расстоянии до объекта и неизменном размере объекта. Очевидно, что высокий темп работы, поддерживая высокий уровень внимания к задаче, приводит к лучшему результату, чем низкий темп подачи задания. Причем повышение эффективности достигается преимущественно за счет сенсорного субнавыка, определяющего способность испытуемого своевременно и правильно оценивать момент появления цели и ее пространственное расположение относительно курсора.

Вторая серия тестов показала, что уровень развития навыка непосредственно влияет на все параметры слежения. В первые дни тренировок рост эффективности слежения был связан с улучшением как сенсорного, так и сенсомоторного субнавыков. Начиная с третьего дня тренировок преимущественный вклад в повышение эффективности работы связан с ростом сенсомоторного субнавыка.

Таким образом, навык владения ММ представляет собой сложный навык, который можно разделить на два субнавыка. Сенсорный субнавык обеспечивает адекватное восприятие пространственного расположения цели и курсора и своевременное формирование программы движения. Сенсомоторный субнавык связан со способностью пользователя реализовать сформированную на предыдущем этапе моторную программу, и отвечает за такие показатели деятельности, как точность совмещения и скорость движения.

Заключение

Работа с графической средой пользователя, в качестве одного из элементов, содержит преследующее дискретное слежение. Данный вид слежения представляет собой перемещение управляемого человеком курсора (обычно с помощью компьютерной мыши) для скорейшего совмещения с объектом-целью, при этом координаты объекта-цели на рабочей области экрана меняются дискретно через определенные промежутки времени. Таким образом, в процессе работы с ЭУП, учащийся находится в положении сидя в течение продолжительного времени, при этом двигательные реакции происходят за счет набора текста на клавиатуре и за счет перемещения курсора компьютерной мыши. В течение всего периода работы с ЭУП регистрируются координаты курсора мыши и события нажатия на левую клавишу мыши. Основным фактором, влияющим на параметры слежения, является уровень реализации навыка, который в свою очередь зависит от степени тренировки и ТФС. В рамках одной сессии работы с ПК уровень тренированности можно считать постоянным, таким образом, основным фактором, оказывающим влияние на показатели слежения является ТФС.

Разработанный метод позволяет оценить эффективность работы с компьютерной «мышью» на уровне отдельных субнавыков и имеет, в случае прикладного использования, следующие преимущества:

1. Метод не требует использования каких-либо дополнительных датчиков
2. Для оценки эффективности работы с ММ используется текущая деятельность учащегося независимо от того, с чем она связана.

3. Метод может быть использован для контроля ТФС учащихся при дистанционном обучении.

4. Результаты, полученные в рамках метода могут анализироваться автоматически, без участия преподавателя.

Литература

1. *Адамс Д.* Поведение человека-оператора в процессе задачи слежения // Инженерная психология. М., 1964.
2. *Айдаркин Е.К., Пахомов Н.В.* Работоспособность и функциональное состояние. Ростов н/Д., 2004. С. 217.
3. *Айдаркин Е.К., Павловская М.А., Старостин А.Н.* Влияние функционального состояния на эффективность сенсомоторной интеграции // Валеология. 2011. № 4. С. 75–86.
4. *Айдаркин Е.К., Щербина Д.Н., Кириллова Е.В.* К вопросу о механизмах оценки времени при зрительно-моторной координации // Валеология. № 2. 2001. С. 16–24.
5. *Айдаркин Е.К., Старостин А.Н., Щербина Д.Н.* Исследование влияния динамики межстимульного интервала на функциональное состояние оператора // Проблемы нейрокибернетики. Т. 1. Ростов н/Д., 2005. С. 123–125.
6. *Айдаркин Е.К., Щербина Д.Н., Кириллова Е.В.* К вопросу о восприятии времени при зрительно-моторной координации // XII Междунар. конф. по нейрокибернетике. 1999.
7. *Бужак Т.М., Барданян Б., Гиппенрейтер Ю.Б.* О механизмах точных движений руки // Психол. журн. 1980. Т. 1. С. 93–103.
8. *Гордеева Н.Д.* Экспериментальная психология исполнительного действия. М., 1995. С. 107–110.
9. *Graham E. D., MacKenzie C.L.* Physical versus virtual pointing // Conference on Human Factors in Computing Systems. Colorado, 1996. P. 292–29.
10. *Hartmann V.O., Fitts P.M.* Relation of stimulus and response amplitude to tracking performance // J. Exp. Psychol. 1955. Vol. 49. P. 82–92.
11. *Fitts P.M.* The information capacity of the human motor system In controlling the amplitude of movement // Exp. Psychol. 1954. Vol. 7. P. 381–391.

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону,
Россия