

В.Н. Рудько,
магистрант 2 курса
напр. «Электронные системы и технологии»,
В.М. Алефиренко,
к.т.н., доц.,
БГУИР,
г. Минск, Республика Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕНСОМОТОРНОЙ РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА ПРИ РАЗЛИЧНОМ ЧИСЛЕ АЛЬТЕРНАТИВ СИГНАЛОВ И АМПЛИТУД ДВИЖЕНИЯ

Аннотация: в работе исследуется сенсомоторная реакция человека-оператора при различном числе альтернатив сигналов и амплитуд движения руки к органу управления. Установлено, что переход от простой реакции к реакции выбора увеличивает время реакции с 0,230-0,252 с до 0,885-1,046 с. Показано, что влияние амплитуды движения наиболее выражено при одной альтернативе: при увеличении амплитуды с 10 до 70 см общее время реакции возросло с 348 до 748 мс. При большем числе альтернатив эта зависимость выражена в меньшей степени. Полученные результаты могут использоваться при оценке и проектировании человеко-машинных интерфейсов сложных технических систем.

Ключевые слова: человеко-машинная система, человек-оператор, сенсомоторная реакция, число альтернатив сигналов, амплитуда движения, время реакции.

Надежность функционирования человеко-машинной системы во многом определяется быстротой действия оператора при приеме и переработке информации. В процессе управления оператор должен своевременно обнаружить сигнал, распознать его значение, выбрать соответствующее действие и выполнить управляющее воздействие. В критических условиях увеличение времени реакции приводит к задержке ответной команды и может снижать безопасность управления. Поэтому исследование сенсомоторной реакции является важным направлением инженерной, связанным с проектированием

интерфейсов сложных технических систем [1, 2].

Сенсомоторная реакция оператора включает сенсорную составляющую, связанную с обнаружением, восприятием и переработкой сигнала, а также моторную составляющую, связанную с выполнением ответного действия. В операторской деятельности простая реакция возникает при заранее известном сигнале и заранее заданном действии. При наличии нескольких возможных сигналов реакция усложняется, поскольку оператору необходимо не только обнаружить сигнал, но и выбрать соответствующий орган управления. Время ответа в этом случае зависит от числа альтернатив сигналов, расположения органа управления, амплитуды движения руки и сформировавшегося навыка работы с интерфейсом [1, 2].

Время реакции в данном исследовании рассматривается как интегральный показатель, отражающий время обнаружения сигнала, его восприятия и выполнения моторного действия. Для интерфейсов сложных технических систем важно разделять сенсорную и моторную составляющие реакции, поскольку задержка ответа может быть связана как с усложнением выбора сигнала, так и с нерациональным расположением органов управления. Моторная составляющая особенно важна при анализе пультов управления, где время перемещения руки зависит от расстояния до нужной клавиши или кнопки.

В расчетной модели общее время реакции оператора определяется как сумма сенсорной и моторной составляющих [1]:

$$t_p = t_1 + t_2, \quad (1)$$

где t_p – общее время реакции;
 t_1 – сенсорная составляющая;
 t_2 – моторная составляющая.

Сенсорная составляющая включает время зрительного поиска, фиксации взгляда, восприятия, декодирования сигнала, переработки информации и принятия решения. Моторная составляющая включает время поиска органа управления, перемещения руки к нему и выполнения управляющего

воздействия. Такое разделение позволяет оценивать не только сам факт задержки реакции, но и возможную причину ее возникновения.

Моторная составляющая реакции связана с пространственными параметрами движения руки к органу управления. Ее влияние описывается выражением [1]:

$$t_2 = a + b \times \log_2(2A/W) = a + bT, \quad (2)$$

где t_2 – время моторной составляющей;
а и b – эмпирические коэффициенты;
 A – амплитуда движения руки;
 W – размер органа управления;
 T – комплексный показатель трудности.

Из приведенного выражения следует, что увеличение амплитуды движения руки или уменьшение размера органа управления может увеличивать время выполнения моторного действия. Поэтому при проектировании человеко-машинных интерфейсов важно учитывать не только количество отображаемых сигналов, но и пространственную доступность органов управления.

Для исследования сенсомоторной реакции использовался специально разработанный программный комплекс ERGON. В ходе эксперимента на информационном табло предъявлялись сигналы, соответствующие определенным клавишам органа управления. Задача оператора заключалась в обнаружении сигнала, его распознавании и нажатии соответствующей клавиши. Программа фиксировала время восприятия и переработки информации, время двигательной реакции и общее время ответа.

В эксперименте изменялись число альтернатив сигналов, амплитуда движения руки к органу управления и число измерений в серии. И использованные параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры эксперимента

Параметр	Значение
Число альтернатив	1; 6; 10; 16; 26
Амплитуда движения руки, см	10; 30; 50; 70
Число измерений	20; 40
Фиксируемые показатели	время восприятия и переработки информации; время двигательной реакции; общее время реакции

На первом этапе оценивалось влияние числа альтернатив сигналов на общее время реакции оператора. При одной альтернативе измерялась простая реакция, при которой сигнал и ответное действие заранее определены. При 6, 10, 16 и 26 альтернативах исследовалась сложная реакция выбора: оператор должен был распознать предъявленный сигнал и нажать соответствующую клавишу органа управления. Результаты измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Общее время реакции оператора при различном числе альтернативных сигналов

Число альтернатив	20 измерений, с	40 измерений, с	Характер реакции
1	0,230	0,252	простая
6	0,962	0,885	сложная
10	0,986	0,995	сложная
16	0,889	1,005	сложная
26	1,020	1,046	сложная

По данным таблицы 2 установлено, что переход от простой реакции к сложной реакции выбора сопровождается существенным увеличением времени ответа оператора. Время простой реакции составило 0,230-0,252 с, тогда как при наличии альтернативных сигналов общее время реакции находилось в диапазоне 0,885-1,046 с. Это показывает, что необходимость распознавания сигнала и выбора соответствующей клавиши

значительно увеличивает продолжительность реакции по сравнению с заранее известным действием.

При этом зависимость времени ответа от числа альтернатив сигналов не имеет строго монотонного характера. Например, при 20 измерениях время реакции при 16 альтернативах оказалось меньше, чем при 6 и 10 альтернативах. Такая особенность может быть связана с тем, что на результат влияли не только число возможных сигналов, но и расположение клавиш, привычность работы с клавиатурой, запоминание их положения и частичное формирование двигательного стереотипа. Поэтому полученные значения следует рассматривать как экспериментальную оценку реакции оператора в заданных условиях работы с программным комплексом ERGON.

На втором этапе оценивалось влияние амплитуды движения руки на сенсорную, моторную и общую составляющие реакции оператора. В эксперименте рассматривались три варианта числа альтернатив: одна альтернатива, шесть альтернатив и двадцать шесть альтернатив. Это позволило сопоставить влияние амплитуды движения при простой реакции и при усложнении выбора ответного действия. Результаты серии из 20 измерений приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Зависимость времени реакции от амплитуды движения руки

Число альтернатив	Амплитуда, см	Восприятие, мс	Движение, мс	Общее время, мс
1	10	262	86	348
1	30	482	100	582
1	50	584	96	680
1	70	626	122	748
6	10	646	373	1019
6	30	868	273	1141
6	50	976	263	1239
6	70	878	293	1171
26	10	922	173	1095

26	30	836	151	987
26	50	980	149	1129
26	70	834	153	987

По данным таблицы 3 видно, что при одной альтернативе увеличение амплитуды движения руки сопровождается ростом общего времени реакции: с 348 мс при амплитуде 10 см до 748 мс при амплитуде 70 см. В этом случае оператору не требуется выбирать один сигнал из нескольких возможных, поэтому влияние пространственного перемещения руки проявляется наиболее заметно.

При шести и двадцати шести альтернативах зависимость общего времени реакции от амплитуды движения выражена менее однозначно. Это связано с тем, что при сложной реакции значительную роль начинает играть не только движение руки, но и восприятие сигнала, поиск соответствующей клавиши и выбор ответного действия. В таких условиях моторная составляющая частично перекрывается с процессами распознавания и подготовки действия, поэтому увеличение амплитуды не всегда приводит к пропорциональному росту общего времени реакции.

Полученные результаты показывают, что амплитуда движения руки особенно важна при простых действиях, когда орган управления известен заранее. При увеличении числа альтернатив возрастает роль организации информационного поля, расположения клавиш и сформировавшегося навыка работы оператора с органом управления. Для проектирования человеко-машинных интерфейсов это означает необходимость учитывать как расстояние до элементов управления, так и сложность выбора нужного действия.

Для наглядного сопоставления полученных результатов по данным таблицы 3 построена зависимость общего времени реакции оператора от амплитуды движения руки при различном числе альтернативных сигналов. Полученная зависимость представлена на рисунке 1.

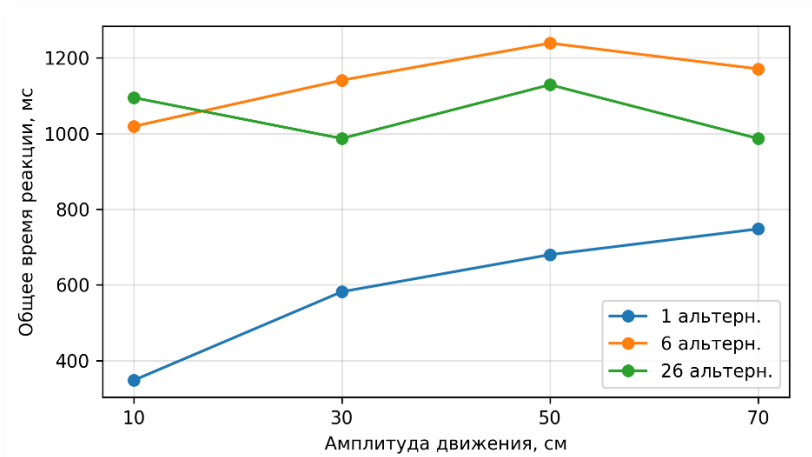


Рисунок 1 – Зависимость общего времени реакции оператора от амплитуды движения руки

Как видно из рисунка 1, при одной альтернативе наблюдается наиболее выраженная зависимость общего времени реакции от амплитуды движения руки. Увеличение расстояния до органа управления приводит к последовательному росту времени ответа. Это объясняется тем, что при простой реакции оператор заранее знает требуемое действие, поэтому основное влияние оказывает именно моторная составляющая.

При 6 и 26 альтернативах зависимость имеет менее заметный характер. В этих условиях общее время реакции определяется не только расстоянием до клавиши, но и процессами распознавания сигнала, выбора ответного действия и поиска нужного органа управления. Поэтому увеличение амплитуды движения не всегда сопровождается пропорциональным увеличением общего времени реакции.

Полученные результаты подтверждают, что при проектировании интерфейсов сложных технических систем необходимо учитывать не только количество сигналов и органов управления, но и их пространственную доступность. Для простых управляющих действий особенно важным является

расстояние до органа управления, а для сложных действий – сочетание пространственного размещения элементов, различимости сигналов и сформировавшегося навыка работы оператора с интерфейсом.

Проведенные исследования показали, что сенсомоторная реакция оператора зависит от характера предъявляемого сигнала и условий выполнения ответного действия. Переход от простой реакции к реакции выбора существенно увеличивает время ответа. Амплитуда движения руки оказывает наиболее заметное влияние при одной альтернативе, когда действие заранее известно и оператору не требуется выбирать ответ из нескольких вариантов. При увеличении числа альтернатив возрастает роль восприятия, распознавания сигнала и поиска соответствующей клавиши. Это подтверждает необходимость комплексного учета сенсорной и моторной составляющих реакции при проектировании человеко-машинных интерфейсов.

Список использованных источников и литературы:

[1] Душков Б.А. Основы инженерной психологии: учебник для технических вузов / Б.А. Душков, Б.Ф. Ломов, В.Ф. Рубахин [и др.]; под ред. Б.Ф. Ломова. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1986. – 448 с.

[2] Березкина Л.В. Эргономика: учебник / Л.В. Березкина, В.П. Кляуззе. – Минск: РИВШ, 2020. – 560 с.

© В.Н. Рудько, В.М. Алефиренко, 2026