

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАТИВНОЙ ПАМЯТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРЕДЪЯВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ**

**Аннотация:** в работе исследуется влияние длины предъявляемой последовательности, времени ее экспозиции на вероятность правильного воспроизведения. Установлено, что при последовательном предъявлении информации вероятность правильного воспроизведения остается достаточно высокой при длине последовательности 7 элементов и снижается при одновременном предъявлении. Показано, что увеличение времени экспозиции положительно влияет на вероятность правильного воспроизведения, особенно при длинных последовательностях.

**Ключевые слова:** оперативная память, оператор, человеко-машинная система, вероятность воспроизведения, способ предъявления информации.

Надежность функционирования человеко-машинных систем во многом определяется характеристиками оперативной памяти оператора. В процессе управления сложными техническими объектами специалист вынужден удерживать в памяти текущие параметры системы, последовательность выполняемых операций и возможные варианты действий. При превышении объема оперативной памяти часть информации теряется, что в критической ситуации может приводить к ошибочному решению. Исследования показывают, что когнитивное состояние оператора в системах управления напрямую влияет на качество принимаемых решений и безопасность функционирования системы в целом [3, 4].

Характеристики оперативной памяти зависят не только от особенностей оператора, но и от условий предъявления информации через интерфейс. Способ подачи данных – последовательный или одновременный – а также время их экспозиции оказывают существенное влияние на эффективность запоминания. Вместе с тем влияние этих параметров на вероятность воспроизведения при различных объемах предъявляемых последовательностей остается актуальной задачей инженерной психологии [1, 2].

Оперативная память обеспечивает кратковременное удержание информации, необходимой для выполнения текущих действий. В отличие от долговременной памяти, она рассчитана на хранение данных в течение ограниченного промежутка времени – как правило, не более нескольких десятков секунд. Ключевой характеристикой оперативной памяти является ее объем, который определяется как количество элементов, которое человек способен одновременно удерживать и воспроизводить [1].

Согласно закону Миллера, объем оперативной памяти человека составляет  $7 \pm 2$  элемента. При увеличении длины предъявляемой последовательности сверх этого предела вероятность правильного воспроизведения резко снижается. Данная закономерность имеет важное значение для проектирования интерфейсов: количество одновременно отображаемых параметров не должно превышать возможностей оперативной памяти оператора.

На характеристики оперативной памяти влияет способ предъявления информации. При последовательном предъявлении элементов оператор воспринимает их поочередно, что позволяет сосредоточить внимание на каждом символе и мысленно группировать элементы в удобные для запоминания блоки. При одновременном предъявлении внимание рассредотачивается, а возможности для поэлементной обработки информации ограничены. Время экспозиции определяет, насколько полно оператор успевает воспринять и закодировать каждый элемент [1, 2].

Для исследования характеристик оперативной памяти

использовался специально разработанный программный комплекс ERGON, предназначенный для проведения инженерно-психологических экспериментов. Оператору предъявлялись числовые последовательности различной длины, после чего требовалось воспроизвести увиденные символы путем ввода с цифровой клавиатуры. Программа автоматически фиксировала правильность воспроизведения каждой последовательности.

Вероятность правильного воспроизведения определялась по формуле:

$$P_{\text{п}} = m / N, \quad (1)$$

где  $m$  – число правильно воспроизведенных последовательностей;

$N$  – общее число предъявлений

В ходе исследования варьировались длина последовательности 3,5,7,9 элементов, время предъявления 0,5;1,0;1,5;2,0 с и способ предъявления – последовательный или одновременный. Для последовательностей из 3 и 5 элементов выполнялась одна серия по 20 измерений, для 7 и 9 элементов – три серии по 20 измерений для оценки воспроизводимости результатов.

Результаты для обоих способов предъявления приведены в таблице 1. Для последовательностей из 3 и 5 элементов выполнялась одна серия измерений; прочерк обозначает отсутствие дополнительных серий.

Таблица 1 – Вероятность правильного воспроизведения при различных способах предъявления

Длина последовательности, элементов	Время предъявления, с	Последовательное предъявление, Рп				Одновременное предъявление, Рп			
		Серия 1	Серия 2	Серия 3	Среднее	Серия 1	Серия 2	Серия 3	Среднее
3	0,5-2,0	0,95-1,00	–	–	0,98	1	–	–	1
5	0,5	0,9	–	–	0,9	0,95	–	–	0,95
5	1,0-2,0	0,95-1,00	–	–	0,98	1	–	–	1
7	0,5	0,8	0,85	0,8	0,82	0,75	0,8	0,75	0,77
7	1	0,85	0,9	0,85	0,87	0,85	0,85	0,9	0,87
7	1,5	0,9	0,9	0,95	0,92	0,9	0,95	0,9	0,92
7	2	0,95	0,95	0,9	0,93	0,95	0,95	1	0,97
9	0,5	0,55	0,6	0,55	0,57	0,5	0,55	0,5	0,52
9	1	0,65	0,7	0,65	0,67	0,6	0,65	0,6	0,62
9	1,5	0,75	0,7	0,75	0,73	0,7	0,75	0,7	0,72
9	2	0,8	0,85	0,8	0,82	0,8	0,75	0,8	0,78

Для наглядного анализа по данным таблицы 1 построены графики зависимости Рп от времени предъявления и длины последовательности, представленные на рисунках 1–3.

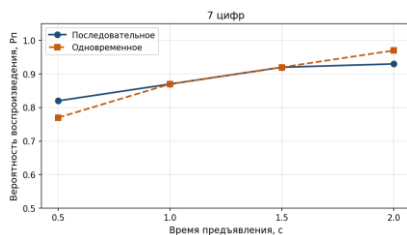


Рисунок 1 – Зависимость Рп от времени предъявления при длине последовательности 7 элементов

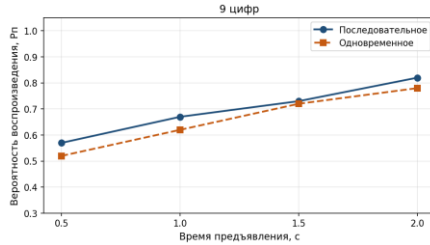


Рисунок 2 – Зависимость  $R_p$  от времени предъявления при длине последовательности 9 элементов

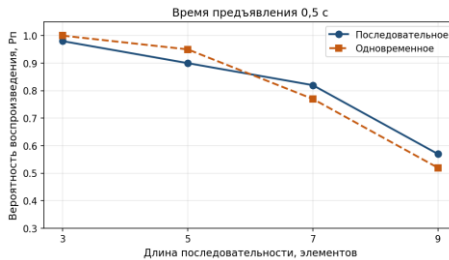


Рисунок 3 – Зависимость  $R_p$  от длины последовательности при времени предъявления 0,5 с

Анализ полученных данных позволяет выявить ряд закономерностей. При длинах последовательностей 3 и 5 элементов вероятность правильного воспроизведения в большинстве случаев составляла 1,00 при обоих способах предъявления, что свидетельствует о том, что данные объемы не превышают возможностей оперативной памяти оператора.

При длине 7 элементов наблюдается устойчивое снижение вероятности воспроизведения, особенно при коротком времени предъявления. При последовательном способе подачи информации среднее значение  $R_p$  при времени 0,5 с составило 0,82, при 2,0 с – 0,93. При одновременном предъявлении соответствующие значения составили 0,77 и 0,97. Высокая воспроизводимость результатов между тремя сериями (разброс не превышает 0,05–0,10) подтверждает достоверность

полученных данных.

При длине 9 элементов вероятность воспроизведения снижается значительно. При последовательном предъявлении и времени 0,5 с среднее значение составило 0,57; при 2,0 с – 0,82. При одновременном предъявлении соответствующие показатели составили 0,52 и 0,78. Таким образом, даже при максимальном времени экспозиции надежное воспроизведение девятизначных последовательностей остается затрудненным.

Сравнение двух способов предъявления показывает, что при коротком времени экспозиции последовательный способ обеспечивает несколько более высокую вероятность правильного воспроизведения при длинах 7 и 9 элементов. При увеличении времени различия между способами уменьшаются. При 7 цифрах и времени 0,5 с разница между режимами составила 0,05 в пользу последовательного предъявления. При последовательностях длиной 9 элементов различия между режимами уменьшаются, что может быть связано с тем, что при очень длинных последовательностях оба способа подачи информации оказываются одинаково затруднительными для запоминания.

Влияние времени предъявления проявляется наиболее отчетливо в критическом диапазоне длин. При 7 элементах увеличение времени с 0,5 до 2,0 с повышает среднюю вероятность воспроизведения при последовательном предъявлении с 0,82 до 0,93, при одновременном – с 0,77 до 0,97. При 9 элементах соответствующий прирост составил 0,25 и 0,26. Это указывает на то, что увеличение времени экспозиции является эффективным способом повышения надежности воспроизведения в критическом диапазоне объемов.

Проведенное исследование показало, что последовательности длиной 7 элементов в большинстве случаев воспроизводятся с высокой вероятностью, тогда как при увеличении длины до 9 элементов вероятность правильного воспроизведения заметно снижается. Это согласуется с законом Миллера, согласно которому средний объем оперативной памяти человека составляет  $7 \pm 2$  элемента. При одновременном предъявлении эффективность воспроизведения несколько ниже, особенно при коротком времени экспозиции.

Увеличение времени предъявления с 0,5 до 2,0 с положительно влияет на вероятность воспроизведения в критическом диапазоне длин (7 и 9 элементов), однако не позволяет достичь вероятности 1,00 при девяти элементах ни при одном из исследованных условий.

Воспроизводимость результатов в трех сериях подтверждает достоверность полученных данных. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании человеко-машинных интерфейсов – в частности, при определении допустимого количества одновременно отображаемых параметров и выборе оптимального времени их экспозиции.

#### ***Список использованных источников и литературы:***

[1] 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.

[3] Abbas A.N. Analyzing Operator States and the Impact of AI-Enhanced Decision Support in Control Rooms / A.N. Abbas, C.W. Amazu, J. Mietkiewicz [et al.] // International Journal of Human–Computer Interaction. – 2025. – Vol. 41, №12. – P. 7218-7252.

[4] Iarlori S. An Overview of Approaches and Methods for the Cognitive Workload Estimation in Human–Machine Interaction Scenarios through Wearable Sensors / S. Iarlori [et al.] // BioMedInformatics. – 2024. – Vol. 4. – P. 1155-1173.

© В.Н. Рудько, В.М. Алефиренко, 2026