

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗРИТЕЛЬНОЙ ПАМЯТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА, ВОСПРИНИМАЮЩЕГО ИНФОРМАЦИЮ С ЭКРАНА ДИСПЛЕЯ

Н. М. Новикова

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 30.01.2017 г.

Аннотация. В статье обосновывается актуальность исследования зрительной памяти человека-оператора. Представлена модель начального этапа восприятия и обработки информации, принятая в когнитивной психологии. На основании рассмотрения памяти как информационного процесса разработана математическая модель. Математическая модель памяти явилась основой методики проведения экспериментов с большой группой (20 человек) операторов. Разработана компьютерная программа, с помощью которой проводились эксперименты с операторами при различных условиях. Группы экспериментов различаются по исследуемым параметрам: контрастность, размер символов, цвет шрифта. Статистическая обработка и анализ полученных результатов показали работоспособность математической модели зрительной памяти.

Ключевые слова: человек-оператор, зрительная память, математическая модель, эксперимент.

MATHEMATICAL MODEL OF THE HUMAN OPERATOR VISUAL MEMORY PERCEIVE WITH SCREEN DISPLAY INFORMATION

N. M. Novikova

Abstract. The paper justifies the relevance of the study of the human operator visual memory. The model of the initial stage of information perceiving and processing adopted in cognitive psychology is presented. The mathematical model is developed based on the consideration of memory as an informational process. The mathematical model of memory was the basis for conducting experiments with a large group (20 people) of operators. A computer program was developed that was used for experiment with operators under various conditions. Groups of experiments differ in the parameters studied: contrast, character size, font color. Statistical processing and analysis of the results showed that the mathematical model of visual memory works.

Keywords: human operator, visual memory, mathematical model, experiment.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное использование компьютерных средств в современной технике приводит к появлению новых проблем, связанных с человеческим фактором. Важной проблемой является задача исследования взаимодействия человека-оператора с компьютером, а именно, с дисплеем. В связи с этим возникает актуальная задача исследования взаимодействия человека и компьютера, в частности, исследование системы “человек-дисплей”. В настоящее время помимо использования уникальных психофизиологических свойств человека по визуальному восприятию информации ставится вопрос об эффективном использовании мыслительных

способностей человека. Для оценки эффективности систем представляет большой интерес выяснить, как человек получает информацию, как она хранится в памяти и преобразуется в знания, и как эти знания влияют на поведение человека. При восприятии информации с дисплея большую роль играет зрительная память человека- оператора.

В психологии исследования памяти человека проводятся давно [1]. В настоящее время в рамках когнитивной психологии большое внимание уделяется исследованиям именно зрительной памяти.

В [2] исследуется возможность быстрой зрительной классификации множества объектов человеком.

В работе [3] представлено исследование восприятия объектов и ансамблей. Множественные объекты могут храниться в зрительной памяти в виде компактного представления — зрительного ансамбля. Описаны эксперименты по измерению объёма и точности зрительной памяти на объекты и ансамбли. В экспериментах было обнаружено, что объём и точность зрительной памяти человека на объекты и ансамбли одинаковы.

В [4] исследовалось влияние способа воспроизведения зрительной информации на её хранение в памяти. В этом исследовании испытуемым было предложено запомнить последовательности мало похожих на буквы фигур и воспроизвести тремя способами. Первый, копируя от руки на лист бумаги. Второй, перекодировав в печатные буквы, ввести с помощью клавиатуры. Третий, ассоциируя с этими буквами, произнести вслух. Было обнаружено большое влияние способа воспроизведения информации. При копировании рукой было обнаружено преобладание неправильного написания. В задаче с вводом ответа при помощи клавиатуры значительно преобладали пропуски элементов. При воспроизведении вслух также были допущены ошибки. Полученные различия свидетельствуют в пользу влияния способа воспроизведения зрительной информации на хранение её в зрительной памяти.

В работе [5] рассматриваются психофизиологические характеристики работы человека-оператора в системе управления. В качестве оценки психофизиологического состояния человека-оператора используется время запаздывания при принятии решения. Это время, которое называется длительностью латентного периода складывается из следующих составляющих. Временного интервала воспроизведения зрительным анализатором изменения визуальной информации, временного интервала формирования зрительного информационного образа и передачи этого образа в соответствующие отделы головного мозга. При рассмотрении этих характеристик не учитывается зрительная память человека-оператора.

В [6] представлена структурная модель работы человека-оператора в информационной системе “человек–дисплей”, реализованная в виде нейронных сетей. В этой работе отсутствуют оценки влияния зрительной памяти на принятия решения человеком-оператором.

Основным недостатком рассмотренных работ является отсутствие математического описания зрительной памяти и экспериментальное исследование работы человека– оператора в системе “человек–дисплей” Результаты этих исследований не могут быть применены для оценки эффективности системы “человек–дисплей”.

Создание математической модели памяти и экспериментальное исследование зрительной памяти человека–оператора при восприятии информации с экрана дисплея представляется актуальной задачей.

Цель статьи — построение математической модели и исследование обработки информации зрительной памятью человека–оператора.

ОБНАРУЖЕНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СЕНСОРНЫХ СИГНАЛОВ

Удобная модель наглядного представления начального этапа восприятия и обработки информации, постулируемая на сегодня в когнитивной психологии, показана на рис. 1 [7]. Сразу подчеркнем, что это лишь модель простой наглядности, а не описания устройства и функци-

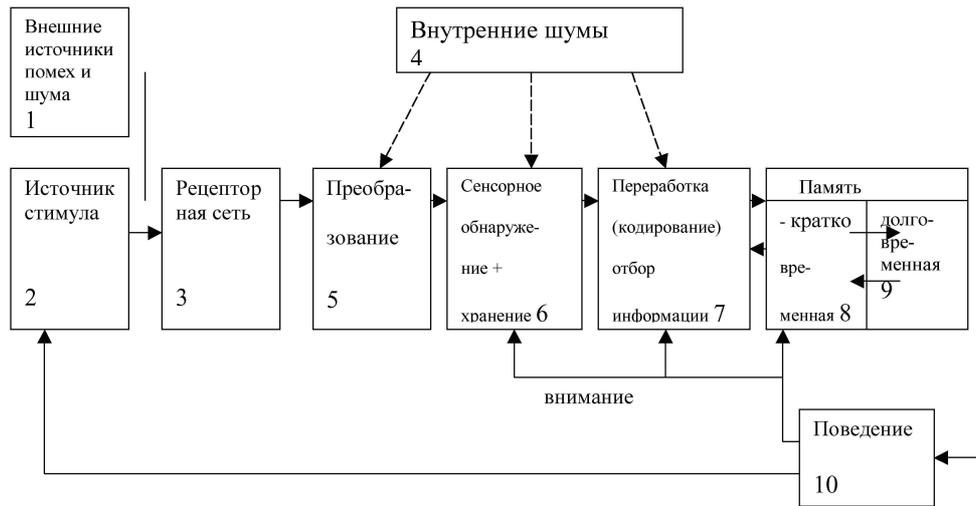


Рис. 1. Движение информации

онирования мозга и анализаторов человека.

Выделение сенсорными системами информации из внешнего физического мира происходит по принципу экономии. Поскольку количество сенсорной информации, непрерывно возбуждающей нашу нейронную сеть, астрономически велико, то для дальнейшей обработки информации когнитивными системами “высшего уровня” отбирается только часть сенсорной информации — структуры 5 и 7 на рис. 1. Для этого выбора необходимо время хранения информации в системе отбора. Длительность хранения (структура 6 на рис. 1), например, зрительных образов, называемых иконическими, примерно равна 250 мс, длительность хранения слуховых образов, называемых эхоическими, больше — от 250 мс до 4 сек. Время хранения в кратковременной памяти (структура 8 на рис. 1) достигает 10–30 сек.

Восприятие внешних воздействий (стимулов) состоит из двух этапов. Первый этап — собственно восприятие, т. е. актуальное сенсорное впечатление. Второй этап — воспроизведение, т. е. способность изложить то, что было запечатлено до его стирания. Таким образом, иконическое и эхоическое хранение позволяют отбирать существенную информацию для дальнейшей переработки, ограничивая пропускную способность нашей системы обработки информации. Первичный процесс приема информации описывают термином “ощущение”, связывая его с реакцией анализаторов органов чувств (глаза, уха и т. п.) в результате воздействия на них элементарных видов стимуляции (структуры 2 и 3 на рис. 1). Под “восприятием” понимают следующий уровень переработки информации, в котором участвуют высшие когнитивные механизмы, интерпретирующие сенсорную информацию. Интерпретация наблюдаемых данных зависит от многих сложных когнитивных факторов, в том числе, от предшествующих знаний о мире, от целей наблюдения и т.п. Поэтому восприятие и интерпретация могут не совпадать с объективной реальностью предмета наблюдения. Нужно отметить, что на процесс восприятия и обработки информации оказывают влияние как внешние, так и внутренние шумы: структуры 1 и 4 на рис. 1.

На основании представления памяти как информационного процесса разработана математическая модель памяти. Рассмотрим математическую модель зависимости между количеством усваиваемой человеком информации и основными величинами процесса поступления и хранения информации в памяти человека.

Обозначим $I(t)$ количество единиц информации, хранящейся в памяти в момент времени t . За единицу хранения информации примем некоторое субъективно-целостное образование, которым может быть: бит, цифра, слог, слово, информационно смысловой элемент текста

(ИСЭТ) (базы данных, базы знаний) и другие стимулы. Таким образом, получим математическую модель без привязки к конкретным единицам измерения информации. Структурная модель памяти показана на рис. 2. На этом рисунке используются следующие обозначения. S — скорость передачи информации различными источниками; R — скорость (количество информации в секунду) “прихода” информации в память; R_S — скорость убывания количества информации в памяти, определяемая процессом забывания.



Рис. 2. Математическая модель памяти

Изменение находящейся в памяти информации в единицу времени будет

$$\frac{dI}{dT} = R - R_s.$$

Примем гипотезу, что забывание информации R_S пропорционально разности между информацией, имеющейся в данный момент времени t и некоторым ее конечным значением I_∞ , определяемым уровнем памяти через достаточно большой промежуток времени,

$$R_S = \frac{\mu}{\tau}(I - I_\infty),$$

где $\mu \leq 1$ безразмерный коэффициент, в общем случае зависящий от объема памяти, характеристик индивидуума, способа подачи информации и др., τ — некоторая константа — постоянная времени.

Итак:

$$dI/dT = R - \mu/\tau(I - I_\infty). \quad (1)$$

При $R = \text{const}$ (не зависит от времени), $\mu = \text{const}$, $\tau = \text{const}$ и начальных условиях: $I = I_0$, при $t = 0$, получим решение этого дифференциального уравнения 1-го порядка

$$I = I_\infty + R \frac{\tau}{\mu} + (I_0 - I_\infty - R \frac{\tau}{\mu}) \cdot e^{-\mu T}, \quad (2)$$

где $T = t/\tau$ безразмерное время, нормированное к τ .

Введем безразмерное количество информации, нормируя к I_0

$$\begin{aligned} \tilde{I} &= I/I_\infty, \quad \tilde{I}_0 = I_0/I_\infty, \\ \tilde{I} &= 1 + \frac{R\tau}{\mu \cdot I_\infty} + \left(\tilde{I}_0 - 1 - \frac{R\tau}{\mu \cdot I_\infty} \right) \cdot e^{-\mu T}. \end{aligned} \quad (3)$$

Формулы (2), (3) позволяют прогнозировать процесс накопления или убывания информации в памяти в зависимости от психофизиологических свойств человека, поступающей информации и уровня ее начального количества.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На основании математической модели памяти была разработана методика экспериментов. Для изучения характеристик памяти был проведен ряд экспериментов, цель которых — выявить зависимость между контрастностью, размером, а так же цветом символов и их восприятием. Для этого проведено 5 групп экспериментов. Человеку–оператору на экране дисплея предъявлялась последовательность, состоящая из букв или цифр. Далее он должен запомнить предложенную ему последовательность и воспроизвести ее максимально точно.

Группы экспериментов различаются по исследуемым параметрам: контрастность, размер символов, цвет шрифта. Первая группа — “Стандартные условия” включает контрастность $k_1 = V/V_{\phi} = 1\% / 75\% = 0,013$ (где V — яркость буквы, V_{ϕ} — яркость фона, эти данные были получены с помощью программы Photoshop, с помощью которой можно определить характеристики цвета, размер символов — 14 и цвет шрифта — черный; вторая группа — “Изменение контраста”. Здесь фиксировался размер символов и их цвет, а изменялась контрастность фона (этот эффект добивался с помощью изменения цвета фона на более темный). Эта группа включает контрастность $k_2 = V/V_{\phi} = 44\% / 50\% = 0,88$, размер символов — 14 и цвет шрифта — черный.

Третья группа — “Изменение размера”, где фиксировался контраст и цвет шрифта, а изменялся размер. Данная группа включает контрастность $k_3 = 0,013$, размер символов — 8 и цвет шрифта — черный. Четвертая и пятая группа — “Изменение цвета”. Здесь фиксируется контраст и размер, а изменяется цвет шрифта. Эта группа включает контрастность $k_4 = 0,013$, размер символов — 14 и цвет шрифта — синий и красный соответственно.

Каждая группа включает в себя 8 экспериментов: по 4 на буквы и цифры. В этих четырех экспериментах предлагаются последовательности символов различной длины с различным учетом времени. Первый эксперимент происходит в режиме длительного показа — без дефицита времени, количество символов — случайная величина в пределах 5 — 10 символов. Последующие три эксперимента производятся в режиме короткого показа за 3, 4,5, 6 секунд с длиной последовательности 5 — 6, 7 — 8, 9 — 10 соответственно (количество символов — случайная величина в указанных пределах).

Для проведения экспериментов была разработана программа. Она работает следующим образом.

При входе в программу, необходимо ввести фамилию, имя и отчество оператора. Далее после нажатия кнопки ОК, программа ознакомит с описанием экспериментов для предварительной подготовки оператора. После чего, начинается проведение экспериментов. После каждого эксперимента можно ознакомиться с текущими результатами, либо ввести заново последовательность в случае, когда пользователь ничего не ввел и случайно нажал на кнопку “Готово”.

Описанным выше образом определяются входные параметры групп экспериментов: контраст, размер, цвет. Затем выводится последовательность букв, удовлетворяющая данным параметрам длиной 5 — 10 символов. Человеку — оператору нужно запомнить символы без дефицита времени и после того, как он закончит, нажав на кнопку ОК, ему нужно будет воспроизвести ее. Далее фиксируются все параметры эксперимента: контраст, размер, цвет и тип символов: букв, и изменяется размер последовательности на величину 5-6 символов. Время у человека — оператора уже ограничено до 3 секунд восприятия. Затем программа сама скрывает предложенную последовательность и предлагает воспроизвести результат. Аналогично этому, проводятся еще две группы экспериментов с величиной 7-8 и временем 4,5 секунд и величиной 9-10 и временем 6 секунд. Затем остаются фиксированными параметры группы экспериментов: контраст, размер, цвет, а изменяется тип символов: цифры, и проводятся аналогичная серия экспериментов по 5-10, 5-6, 7-8, 9-10 символов с допущенным

временем на восприятие: без дефицита, 3 сек, 4,5 сек, 6 сек соответственно. Это цикл одной группы экспериментов. Затем проводятся аналогичные эксперименты, где изменяются уже входные параметры группы (контраст, размер, цвет), а сам цикл внутренних экспериментов повторяется.

После окончания экспериментов, программа отобразит результаты и самостоятельно сохранит их во внешний файл.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

По результатам эксперимента вычислялась вероятность правильных ответов как частота события

$$p = n_x / N_x,$$

где x — длина последовательности; n_x — число верных ответов; N_x — число предъявленных последовательностей для каждого из испытуемых.

Рассчитанные значения вероятностей правильного воспроизведения последовательностей усреднялись по всем операторам. В экспериментах участвовало 20 операторов. Для всех условий эксперимента получены зависимости вероятностей правильного воспроизведения от длины последовательности. Кроме того, для всех условий эксперимента получены зависимости вероятностей ошибочного воспроизведения от длины последовательностей. Усредненные по операторам вероятности правильного воспроизведения $P_{\text{пр.воспр}}$ символов при различных условиях эксперимента представлены в таблице

Таблица 1. Вероятность правильного воспроизведения символов

Тип экспериментов		Длина последовательности						
		5 $P_{\text{пр.воспр}}$	6 $P_{\text{пр.воспр}}$	7 $P_{\text{пр.воспр}}$	8 $P_{\text{пр.воспр}}$	9 $P_{\text{пр.воспр}}$	10 $P_{\text{пр.воспр}}$	11 $P_{\text{пр.воспр}}$
Б у к в ы	1 группа стандартные условия	1	0,92	0,86	0,85	0,81	0,78	0,65
	2 группа изменение контраста	0,97	0,91	0,78	0,73	0,67	0,69	0,56
	3 группа изменение размера	0,94	0,77	0,74	0,73	0,61	0,57	0,52
	4 группа красный шрифт	0,96	0,89	0,76	0,74	0,65	0,59	0,54
	5 группа синий шрифт	1	0,93	0,88	0,86	0,81	0,79	0,67
Ц и ф р ы	1 группа стандартные условия	1	0,99	0,96	0,94	0,89	0,85	0,67

2 группа изменение контраста	1	0,89	0,87	0,78	0,72	0,69	0,57
3 группа изменение размера	0,95	0,79	0,75	0,73	0,7	0,67	0,55
4 группа красный шрифт	0,97	0,92	0,79	0,76	0,68	0,65	0,56
5 группа синий шрифт	1	0,99	0,95	0,94	0,88	0,86	0,72

Проанализируем полученные зависимости.

Докажем, что полученные данные распределены по нормальному закону распределения с помощью критерия Шапиро-Уилка [8]. Применение этого критерия показало, что гипотеза о нормальном распределении подтверждается при уровне значимости $\alpha = 0,01$. Аналогичные результаты были получены и для остальных групп экспериментов:

Можно утверждать, что вероятность правильного воспроизведения последовательностей различной длины для каждого оператора описывается функцией нормального распределения

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x}} \int_0^x \exp [-(x - \bar{l})^2 / 2\sigma_x^2] dx \quad ,$$

где \bar{l} — математическое ожидание длины последовательности x ; σ_x — среднеквадратическое отклонение случайной величины x .

Докажем, что выборки различаются значимо, то есть на вероятности влияют условия экспериментов. Применение критерия хи-квадрат для сравнения вероятностей правильного воспроизведения последовательностей для всех групп экспериментов показало, что выборки различаются значимо при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Таким образом, можно сделать вывод о значимости рассмотренных условий на результаты экспериментов.

Воспользуемся методом спрямляемых диаграмм [9] для нахождения статистик: математического ожидания, дисперсии. и среднеквадратичного отклонения.

Рассмотрим для примера первую группу экспериментов — “Стандартные условия” для букв. Результаты измерений представим в виде квантилей нормального распределения. Для всех условий экспериментов построим графики зависимости вероятности правильного воспроизведения (в квантилях нормального распределения) от объема предъявляемой информации. Так как полученные точки лежат вблизи некоторой прямой, то нет оснований отвергать гипотезу о нормальном распределении. Определим уравнения этих прямых методом наименьших квадратов [9] и построим их графики.

С помощью построенной прямой можно графически определить оценки математического ожидания и среднеквадратического отклонения выборки [9]. Статистики были получены по всем группам экспериментов

Воспользуемся модифицированным критерием Стьюдента [8]. для сравнения оценок среднего. Для этого будем сравнивать полученные статистики по 1 и 2 группам эксперимента для букв — как относительно стандартных условий влияет изменение контраста.

Применение критерия Стьюдента показало, что исследуемые последовательности различаются значимо при уровне значимости $\alpha = 0,01$. Такое сравнение статистик было проведено при различных условиях эксперимента. Данные, полученные при различных параметрах

измерений, различаются значимо при уровне значимости $\alpha = 0,01$. Другими словами, все условия эксперимента влияют на вероятность правильного воспроизведения.

Далее определим значимость различий оценок дисперсий с помощью критерия Фишера [8]. Применение критерия Фишера для этих оценок показало, что для всех условий эксперимента дисперсии различаются значимо при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Таким образом, можно сделать вывод о значимости рассмотренных условий эксперимента. При этом согласно полученным уровням значимости можно определить, что наибольшее влияние с вероятностью 0,99 оказывает изменение размера символов на вероятность их правильного воспроизведения. Наименьшее влияние с вероятностью 0,9 оказывает изменение цвета шрифта на синий.

Определим, существует ли связь между полученными результатами экспериментов. Проведем оценку коэффициента корреляции, который показывает, насколько связь между случайными величинами близка к строго линейной [8]. Для всех групп экспериментов была проверена гипотеза об отсутствии линейной связи между выборками. Получено, что корреляция признается не значимой с уровнем значимости $\alpha = 0,01$.

Полученные результаты означают, что последовательности, полученные в результате изменения различных условий эксперимента, независимы друг от друга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены основные характеристики и математическая модель памяти человека и оценена роль памяти при обработке визуальной информации, воспринимаемой человеком с экрана дисплея. Разработана методика экспериментов и ее программная реализация по определению вероятностей воспроизведения последовательностей, состоящих из букв или цифр, предъявляемых на экране дисплея. С большой группой операторов, состоящей из 20 человек, проведены эксперименты по определению вероятностей правильного и ошибочного воспроизведения последовательностей, предъявленных на экране дисплея. С помощью критерия Шапиро-Уилка доказано, что полученные вероятности воспроизведения последовательностей распределены нормально при уровне значимости $\alpha = 0,01$. Различия между полученными данными значимы (согласно критерию хи-квадрат) с уровнем значимости $\alpha = 0,05$. Проведен анализ статистик с помощью критериев Стьюдента и Фишера и было выявлено влияние условий эксперимента на вероятность правильного воспроизведения символов. При этом согласно полученным уровням значимости можно определить, что наибольшее влияние с вероятностью 0,99 оказывает изменение размера символов на вероятность их правильного воспроизведения. Наименьшее влияние с вероятностью 0,9 оказывает изменение цвета шрифта на синий. Согласно оценке коэффициента корреляции, вероятности воспроизведения последовательностей, полученные в результате изменения различных условий эксперимента, независимы друг от друга.

Математическая модель памяти и результаты экспериментов могут быть использованы при эксплуатации и проектировании сложных человеко-машинных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мещеряков, Б. Г. Большой психологический словарь / Г. Б. Мещеряков, В. П. Зинченко. — Москва : АСТ, 2009. — 816 с.
2. Utochkin, I. S. Ensemble summary statistics as a basic for rapid visual categorization / I. S. Utochkin // Journal of Vision. — 2015. — V. 15, № 8. — P. 1–14.
3. Объем и точность зрительной рабочей памяти на объемы и ансамбли / Ю. А. Марков [и др.] // Психология. Журнал Высшей школы экономики. — 2017. — Т. 14, № 4. — С. 735–755.
4. Absatova, K. A. Does the way memorize information depend of the way we are going to use it? / K. A. Absatova, A. V. Kurgansky // Psychology Journal of the Higher School of Economics.

— 2016. — V. 13, № 1. — P. 177–191.

5. Пупков, К. А. Экспериментальное оценивание интегральных показателей психофизиологического состояния операторов человеко-машинных систем управления / К. А. Пупков // Вестник РУДН. Сер. : Инженерные исследования. — 2015. — № 4. — С. 7–16.

6. Дуденков, В. М. Нейросетевая модель работы человека-оператора в системе “человек-дисплей” / В. М. Дуденков, Н. М. Новикова // Научные ведомости БелГУ. — 2015. — № 7(204). — С. 153–158.

7. Новикова, Н. М. Интеллектуальные интерфейсы / Н. М. Новикова, В. Н. Будко. — Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2011. — 308 с.

8. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. — М., 2006. — 816 с.

9. Гмурман, В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике / В. Е. Гмурман. — М., 2011. — 404 с.

REFERENCES

1. Meshcheryakov B.G., Zinchenko V.P. Big psychological dictionary. [Meshcheryakov B.G., Zinchenko V.P. Bol'shoj psixologicheskij slovar']. Moscow, 2009, 816 p.

2. Utochkin I.S. Ensemble summary statistics as a basic for rapid visual categorization. Journal of Vision, 2015, vol. 15, no. 8, pp. 1–14.

3. Markov Yu.A. et. al. Volume and accuracy of visual working memory for volumes and ensembles. [Markov Yu.A. i dr. Ob'em i tochnost' zritel'noj rabochej pamyati na ob'emy i ansambli]. *Psixologiya. Zhurnal Vyssheyj shkoly ekonomiki — Psychology. Journal of the Higher School of Economics*, 2017, vol. 14, no. 4, pp. 735–755.

4. Absatova K.A., Kurgansky A.V. Does the way memorize information depend of the way we are coing to use it? Psychology Journal of the Higher School of Economics, 2016, vol. 13, no. 1, pp. 177–191.

5. Pupkov K.A. Experimental evaluation of integral indicators of the psychophysiological state of human-machine control system operators. [Pupkov K.A. Eksperimental'noe ocenivanie integral'nyx pokazateley psixofiziologicheskogo sostoyaniya operatorov cheloveko-mashinnyx sistem upravleniya]. *Vestnik RUDN. Seriya Inzhenernye issledovaniya — Vestnik RUDN. Series: Engineering Research*, 2015, no. 4, pp. 7–16.

6. Dudenkov V.M., Novikova N.M. Neural network model of the human operator in the "man-display" system. [Dudenkov V.M., Novikova N.M. Neyjrosetevaya model' raboty cheloveka-operatora v sisteme "chelovek-displej"]. *Nauchnye vedomosti BelGU — Scientific news of BelSU*, 2015, no. 7(204), pp. 153–158.

7. Novikova N.M., Budko V.N. Intellectual interfaces. [Novikova N.M., Budko V.N. Intellektual'nye interfejjsy]. Voronezh: Publishing and Polygraphic Center of VSU, 2011 p.

8. Kobzar A.I. Applied mathematical statistics. For engineers and academics. [Kobzar' A.I. Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnyx rabotnikov]. Moscow, 2006, 816 p.

9. Gmurman V.E. Guide to solving problems in probability theory and mathematical statistics.

*Новикова Нелля Михайловна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вычислительной математики и прикладных информационных технологий, ВГУ, г. Воронеж, Россия
E-mail: nov.nelly@gmail.com*

*Novikova Nellya Mikhailovna, Doctor of Technical Science, Professor, Professor Subdepartment of Computational Mathematics and Applied Information Technology, Voronezh State University, Voronezh, Russia
E-mail: nov.nelly@gmail.com*