

А.Ю. Пигарев

Новосибирский государственный университет экономики и управления, г. Новосибирск, Россия

РАЗВИТИЕ НАВЫКОВ РАБОТЫ С ЧИСЛОВЫМИ СТРУКТУРАМИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ

Необходимость развития навыков работы с числовыми структурами обоснована не только требованиями государственных экзаменов, но и данными, полученными в когнитивной науке. Сформулирована идея тренажеров рабочей памяти на целевом контенте, в частности, на числовых структурах. Использование компьютерных тренажеров работы с числовыми структурами позволяет реализовать метод интервальных повторений; в совершенстве отработать навыки работы с числовыми структурами; натренировать рабочую память. Проанализированы эмпирические данные влияния тренировки рабочей памяти на решение задач, использующих ее ресурсы. Основные выводы: 1) имеются значительные индивидуальные различия в способности выполнять упражнения на рабочую память у людей примерно одного и того же возраста; 2) длительные и систематические тренировки рабочей памяти позволяют не только поддерживать ее функционирование в актуальном состоянии, но и несколько расширить пределы ее физиологического развития.

Ключевые слова: рабочая память, компьютерный тренажер, числовая структура.

Под числовой структурой как дидактическим понятием понимается любое числовое множество, произвольно распределенное в пространстве [1]. К числовым структурам можно отнести числовую прямую, тригонометрическую окружность, множество рациональных чисел, координатную плоскость и т.п. Решение задач с числовыми структурами происходит в рабочей памяти. Учащиеся, у которых наблюдается дефицит рабочей памяти, испытывают объективные трудности в решении таких задач, что делает невозможным усвоение курса математики и успешную сдачу ЕГЭ. Например, для решения задач № 9 и 13 в ЕГЭ по математике образца 2017 г. было необходимо владеть навыками работы с тригонометрической окружностью и правилами приведения тригонометрических функций.

Способность к устному счету важна не только для успешной сдачи государственных экзаменов. Устный счет лежит в основе важнейших высших психических функций, как утверждает А.Ш. Тхостов (МГУ) [2]. Отсутствие навыка устного счета может привести к утрате способности к рекурсивному мышлению, что характерно для культуры народа Pirahã, живущего в джунглях Амазонки [3]. У них нет ни чисел, ни счета, ни рекурсивных структур в языке.

Тренировка рабочей памяти с помощью классических тренажеров вызывает отторжение у некоторых слабо мотивированных учащихся, поскольку не связана непосредственно с содержанием задач ЕГЭ. Поэтому необходимо создавать

тренажеры рабочей памяти на самом целевом контенте – числовых структурах в частности.

Основная идея создания тренажеров рабочей памяти на целевом контенте заключается в том, чтобы найти узловые моменты в практической деятельности, в которых происходит интенсивная нагрузка на рабочую память, смоделировать их на компьютере и построить на основе модели тренажер. Идея реализована пока на примере устного счета и основных понятий тригонометрии.

Автором были созданы три тренажера такого вида, доступные по адресу: <http://www.workingmemory.ru/htmls/trainers.php>: тренажер устного счета и два тренажера на развитие навыков работы с тригонометрической окружностью (табл. 1).

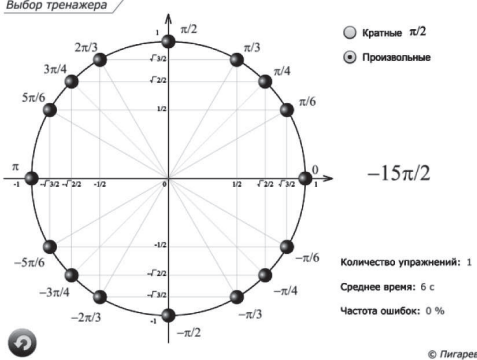
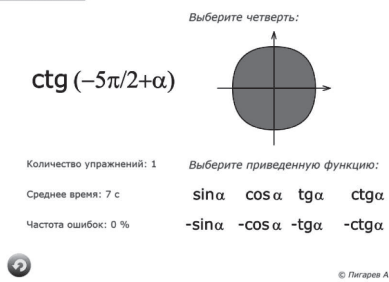
Использование компьютерных тренажеров работы с числовыми структурами позволяет:

1) реализовать метод интервальных повторений [4] для учащихся, испытывающих трудности с усвоением методов работы с числовыми структурами, поскольку автоматическая генерация заданий не ограничивает их число и не требует разработки новых упражнений для интервального повторения материала;

2) отработать навыки работы с числовыми структурами настолько, что в процессе решения задачи по математике ресурсы рабочей памяти будут сосредоточены на поиске решения самой задачи и не будут отвлекаться на выполнение стандартных операций с числовыми структурами;

Таблица 1

Краткое описание компьютерных тренажеров, направленных на развитие навыков работы с числовыми структурами (<http://www.workingmemory.ru/htmls/trainers.php>)

 Пример № 1 Текущее время: 13 с Среднее время: Главное меню Введите ответ и нажмите кнопку "ENTER"	Тренажер «Устный счет» позволяет в совершенстве овладеть навыками устного счета. Среднее время произведения двухзначного числа на однозначное, деления трехзначного числа на однозначное и вычитания из трехзначного числа двухзначного должно быть не более 7 с. Среднее время умножения двухзначных чисел — в пределах 15 с
 Выбор тренажера / Кратные $\pi/2$ Произвольные Количество упражнений: 1 Среднее время: 6 с Частота ошибок: 0 % © Пигарев А.Ю.	Тренажер «Тригонометрическая окружность» позволяет отработать навык нахождения точки на числовой окружности, соответствующей заданному значению переменной. Необходимо добиться безошибочного выполнения упражнения на максимальной скорости
 Выбор тренажера / Выберите четверть: ctg $(-5\pi/2 + \alpha)$ Количество упражнений: 1 Среднее время: 7 с Частота ошибок: 0 % Выберите приведенную функцию: $\sin \alpha$ $\cos \alpha$ $\operatorname{tg} \alpha$ $\operatorname{ctg} \alpha$ $-\sin \alpha$ $-\cos \alpha$ $-\operatorname{tg} \alpha$ $-\operatorname{ctg} \alpha$ © Пигарев А.Ю.	Тренажер «Формулы приведения» позволяет в совершенстве овладеть навыком использования формул приведения в решении тригонометрических задач. Необходимо добиться безошибочного выполнения упражнения на максимальной скорости

3) тренировать рабочую память, поскольку программа рассчитывает среднее время выполнения одного упражнения, к которому сформулированы требования. Это может побудить учащегося нагружать рабочую память в предельном режиме, что ведет к ее тренировке.

Таким образом, компьютерные тренажеры, направленные на развитие навыков работы с числовыми структурами, позволяют решить проблемы, не решаемые с помощью традиционных бумажных учебных пособий: 1) гарантированное развитие навыков работы с числовыми структу-

рами, 2) тренировка рабочей памяти. Возможный дидактический эффект не может быть достигнут даже при индивидуальном обучении с репетитором. Использование информационных технологий в образовании в такой форме, возможно, позволяет надеяться в перспективе на решение «проблемы двух сигм» [5].

Тренажеры «Тригонометрическая окружность» и «Формулы приведения» опубликованы 1 августа 2016 г. и являются продолжением проекта «Компьютерные тренажеры рабочей памяти» (<http://workingmemory.ru>), запущенного в

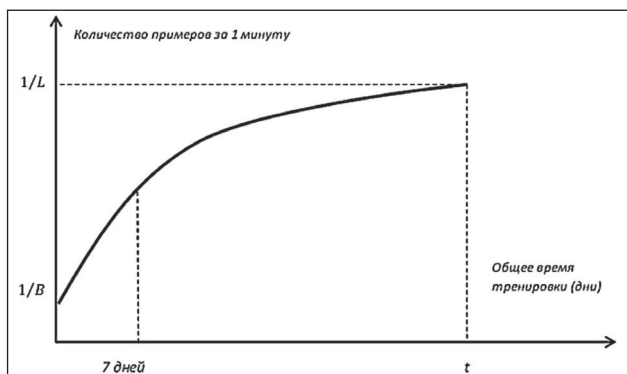


Рис. 1. Характер зависимости скорости выполнения упражнений на рабочую память от общего времени тренировки

2008 г. За восемь лет работы проекта количество пользователей сайта превысило 200 человек, а оставленные ими в базе данных результаты выполненных упражнений составляют порядка двухсот тысяч записей. В 2008 г. количество тренажеров на сайте было семь, в том числе тренажер «Устный счет». Сейчас на сайте опубликовано двенадцать тренажеров, в том числе три направленных непосредственно на развитие навыков работы с числовыми структурами.

Анализ этих данных позволяет сделать выводы относительно влияния тренировки рабочей памяти на скорость решения задач, связанных с использованием ее ресурсов (рис. 1).

Заметный рост скорости на первом этапе предположительно идет за счет совершенствования стратегии использования ресурсов рабочей памяти. Этот этап занимает порядка недели. Затем, когда стратегия уже отработана, рост производительности происходит уже за счет улучшения самой рабочей памяти.

Поясним закономерность на примере изменения среднего времени произведения в уме двухзначных чисел в результате тренировки. В качестве испытуемых были старшеклассники в возрасте 14–18 лет на момент начала занятий. Тренировались с разной интенсивностью, но упражнения выполнялись систематически и без длительных перерывов. Результаты тренировок для тринадцати отобранных по таким критериям участников представлены в табл. 2.

С одной стороны, видим значительные индивидуальные различия в способности выполнять упражнения на рабочую память у людей примерно одного и того же возраста (столбец L). С другой стороны, наблюдается примерно одинаковый относительный прирост скорости произведения в уме двухзначных чисел в результате тренировки.

Для наглядности данные табл. 1 представлены и на графике (рис. 2).

По горизонтальной оси – общее время тренировок, а по вертикальной – во сколько раз умень-

Таблица 2

Изменение среднего времени произведения в уме двухзначных чисел в результате тренировки учащихся старших классов

№	B	L	t	D
Условный номер пользователя тренажера	Начальное среднее время произведения в уме двухзначных чисел, с	Среднее время произведения в уме двухзначных чисел после тренировок, с	Время тренировок, дни	Отношения начального и конечного времени произведения в уме двухзначных чисел
1	40	30	30	1,33
2	87	49	105	1,78
3	22	18	108	1,22
4	31	11	139	2,82
5	63	13	239	4,85
6	49	20	301	2,45
7	30	16	392	1,88
8	64	26	703	2,46
9	47	23	749	2,04
10	17	8	795	2,13
11	51	16	989	3,19
12	58	21	1195	2,76
13	50	9	1255	5,56

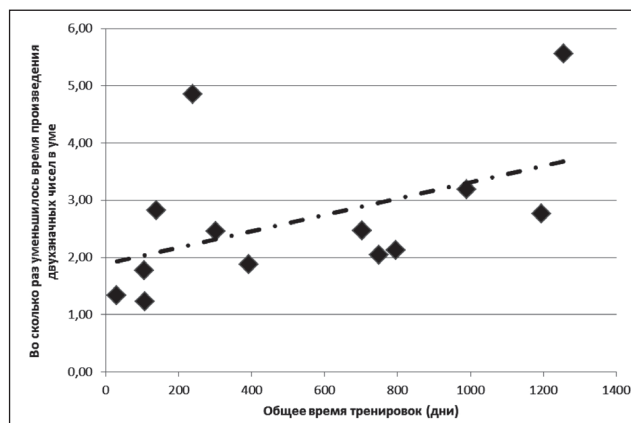


Рис. 2. Зависимость изменения времени произведения в уме двухзначных чисел от общего времени тренировок

шилось среднее время выполнения упражнения на произведение двухзначных чисел в уме.

Если время тренировки от месяца до года, то скорость произведения двухзначных чисел в уме увеличивается в среднем в два раза. Если время тренировки от двух до четырех лет, то скорость выполнения упражнения увеличивается в среднем уже в три раза.

По данным работы с другими тренажерами, представленными на сайте <http://workingmemory.ru/>, также наблюдается подобная закономерность влияния тренировки на решение задач, оказывающих нагрузку на рабочую память.

Пусть медленное, но непрерывное улучшение показателей устного счета при длительной тренировке не может быть объяснено возрастными изменениями рабочей памяти, так как в возрасте 10–30 лет рабочая память прирастает на пять процентов за два года у среднестатистического человека [6]. Таким образом, систематические тренировки рабочей памяти позволяют не только поддерживать ее функционирование в актуальном состоянии, но и расширяют пределы ее физиологического развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sousa D.A. How the Brain Learns Mathematics. – 2 edition. – Corwin, 2014. – 256 p.
2. <http://www.forbes.ru/mneniya-column/305645-chem-opasny-kalkulyatory>
3. Everett D.L. Don't sleep there are snakes. – USA. Vintage, 2008. – 300 p.
4. Pashler H., Rohrer D., Cepeda N.J., Carpenter S.K. Enhancing learning and retarding forgetting: Choices and consequences // Psychonomic Bulletin & Review. – 2007. – № 14(2). – P. 187–193.

5. Kaufman S.B. Ungifted: intelligence redefined. – New York: Basic Books, 2013. – 400 p.

6. Alloway T.P., Alloway R.G. Working Memory in Development // Working Memory – The Connected Intelligence. – Psychology Press, 2013. – P. 65.

Pigarev A.Yu.

Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russia

NUMERIC STRUCTURE SKILLS DEVELOPMENT VIA COMPUTER SIMULATORS

Keywords: working memory, computer simulator, numeric structure.

The necessity for development of skills to work with numeric structures is justified both by the requirements of state exams and by the data obtained concerning cognitive science on interconnection between capacity for mental calculation with the development of higher mental functions (the recursive thinking, in particular).

The idea has been formed and the necessity of development of working memory simulators on base of target content, particularly numeric structures is proved. Their use for personality development makes it possible not only to improve the working memory capacity, but to implement the method of interval repetitions, and to workout perfectly the skills of working with numeric structures.

The simulators are available at the website 'working-memory.ru'. There are twelve simulators published. Three skills of working with numeric structures are directly developed: "Mental Calculation", "Trigonometric circle", "Reduction formulas". The simulator "Mental Calculation" has been online since 2008, the launch of the project. The trainers "Trigonometric circle" and "Reduction formulas" were published in August the 1st, 2016.

Empirical data of the influence of working memory training on solving problem using its resources are analyzed. The empirical data are about two hundred thousand records of the results of the working memory exercises by different users of the working-memory.ru website in the period of 2008 - 2016. The main conclusions are (1) there are large individual differences in the ability to perform exercises on working memory in people about the same age; (2) long-term and systematic training of the working memory makes it possible both to maintain its operation and to extend its physiological limits. The

increase in working memory performance in young adults of 16-20 engaging in training is ahead the average statistical growth of the working memory capacity within a period of three-four years. If the training duration is from a month to a year, the rate of multiplying two-digit numbers in mind increases to about two times. If the training duration is from two to four years, the rate of the exercise increases to three times.

An explanation for the patterns observed of the rate of the working memory exercises depending on the total training duration is given. Noticeable growth of the rate in the first stage can be considered by improving strategy of working memory resources use. This stage takes about a week. Then when the strategy has been trained, the rate growth becomes slow and depends on improving working memory

itself. The use of information technologies in education in such a way allows us to hope to resolve “the two sigma problem” in future.

REFERENCES

1. *Sousa D.A.* How the Brain Learns Mathematics. – 2 edition. – Corwin, 2014. – 256 p.
2. <http://www.forbes.ru/mneniya-column/305645-chem-opasny-kalkulyatory>
3. *Everett D.L.* Don't sleep there are snakes. – USA. Vintage, 2008. – 300 p.
4. *Pashler H., Rohrer D., Cepeda N.J., Carpenter S.K.* Enhancing learning and retarding forgetting: Choices and consequences // *Psychonomic Bulletin & Review*. – 2007. – № 14(2). – P. 187–193.
5. *Kaufman S.B.* Ungifted: intelligence redefined. – New York: Basic Books, 2013. – 400 p.
6. *Alloway T.P., Alloway R.G.* Working Memory in Development // *Working Memory – The Connected Intelligence*. – Psychology Press, 2013. – P. 65.