

А. Ю. Пизарев

РАЗВИТИЕ РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ КАК СРЕДСТВО ПРЕОДОЛЕНИЯ ОБЪЕКТИВНЫХ ТРУДНОСТЕЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

Предлагается методика развития рабочей памяти для студентов, испытывающих объективные трудности в изучении математических дисциплин по причине недостатка рабочей памяти. Методика основана на компьютерных тренажерах, созданных автором (<http://mathtutor.narod.ru>). Теоретической основой работы является теория рабочей памяти Алана Бэддли, а также данные эмпирических исследований о высокой корреляции между параметрами рабочей памяти и способностями к изучению математики.

Ключевые слова: математические способности, рабочая память, компьютерные тренажеры.

Математические дисциплины, включающие математику и науки, использующие язык математики (например, физику), входят в государственные образовательные стандарты и являются основой формирования научного мировоззрения и профессиональной компетенции. Однако некоторые студенты и школьники испытывают устойчивые объективные трудности в изучении этих дисциплин [1]. Речь идет о детях, не имеющих органических поражений головного мозга, проблем с поведением и социально благополучных.

Преподаватель оказывается перед выбором: либо оставить всякую надежду на то, что данный ученик когда-либо освоит основы математики и физики, поставив на нем клеймо «неспособный», либо, руководствуясь идеей Б. М. Величковского о том, что результаты исследования формирования когнитивных навыков «позволяют надеяться на преодоление многих, казалось бы, фиксированных ограничений познавательных процессов при правильно построенных обучении и тренировке» [2, с. 304], искать решение проблемы на основе достижений современной когнитивной науки.

Ранее существовавшие теоретические объяснения неспособностей к изучению математики сводились к следующему: трудности в извлечении базовых арифметических положений из долговременной памяти; неразвитость калькуляционных процедур [3–5]; проблемы с пространственно-визуальным представлением числовой информации [6]. В настоящее время внимание исследователей сфокусировано на связи рабочей памяти человека и его способностей к изучению математики [7–12].

Теория рабочей памяти была создана Аланом Бэддли и Грахамом Хитчем [13]. Рабочая память включает три служебные подсистемы (буферы повторения): артикулярную петлю, сохраняющую в течение короткого времени (порядка двух секунд) продукты фонематического анализа; зрительно-пространственный блокнот, удерживающий в течение нескольких секунд зрительную (форма и цвет) или пространственную информацию, и эпизоди-

ческий буфер, обеспечивающий взаимодействие рабочей и долговременной памяти. Контроль, распределение внимания, переработку и перезагрузку информации в буферах повторения осуществляет «управляющий орган» — центральный администратор рабочей памяти [13].

Рабочая память характеризует способность человека манипулировать информацией, хранящейся короткое время в его памяти. Такая манипуляция лежит в основе процессов мышления: рассуждения, обучения, понимания [13].

Восемь различных тестирующих рабочую память систем представлено на официальном сайте центра «Рабочая память и обучение» при университете Йорка (Англия) (<http://www.york.ac.uk/res/wml/>). Параметры рабочей памяти оцениваются с помощью комплексных задач на рабочую память (*complex span tasks*), в которых испытуемый должен одновременно перерабатывать информацию и удерживать в памяти промежуточные результаты [8, 13]. Отдельно оценить работу центрального администратора и буферов повторения позволяет использование в тестирующих рабочую память системах наряду с комплексными задачами тестов кратковременной памяти. Если испытуемый не может выполнить комплексную задачу на рабочую память, но при этом у него нормальный объем артикулярной петли (или зрительно-пространственного блокнота) по результатам тестов кратковременной памяти, это свидетельствует о неполадках в работе центрального администратора. Например, если испытуемый может запомнить произвольную последовательность цифр, но не может воспроизвести ее в обратном порядке [9].

Средние параметры рабочей памяти «среднестатистического человека» линейно возрастают от четырех до пятнадцати лет. Емкости буферов повторения за этот период возрастают примерно в полтора раза, но при этом наблюдается значительный разброс параметров рабочей памяти у разных людей [9]. Высокая корреляция между характеристиками рабочей памяти человека и его способнос-

тями к изучению математики показана в целом ряде авторитетных научных исследований [7–12].

При обучении математике людей с недостатком рабочей памяти, прежде всего, рекомендуется минимизировать вероятность сбоев рабочей памяти в учебном процессе. На основе идеографических исследований выделяют четыре часто встречающихся типа таких сбоев: 1) неспособность удержать в памяти условие задачи; 2) неспособность одновременно обрабатывать информацию и удерживать в памяти промежуточные результаты; 3) неспособность удерживать в памяти логическую цепочку рассуждений при решении сложной задачи и 4) неспособность быстро извлекать из долговременной памяти необходимые инструкции [7, 9].

Чтобы минимизировать вероятность таких сбоев предлагают следующие методические рекомендации: 1) использовать наглядные пособия, иллюстрации, таблицы, чтобы снизить нагрузку на рабочую память во время усвоения информации; 2) давать упрощенные задачи «в одно действие», соответствующие уровню учеников с недостатком рабочей памяти; 3) задания формулировать максимально кратко и простыми предложениями. Обращать внимание ученика на ключевые моменты, вопросами удостовериться, что он понял условие [7, 9].

В дополнение к вышеперечисленным методическим подходам **автор предлагает развивать рабочую память с помощью созданных им тренажеров**, опубликованных по адресу: <http://mathtutor.narod.ru>. Примерно определены показатели работы с тренажерами для разных уровней развития рабочей памяти на основе обработки статистических

данных, собранных в результате тестирования порядка пятидесяти студентов и старшеклассников старше пятнадцати лет (таблица).

Показатели работы с тренажерами у конкретного испытуемого относительно быстро достигают предельных значений после нескольких занятий в течение недели. Именно эти предельные значения характеризуют возможности рабочей памяти человека согласно данным в таблице. Далее эти показатели или постепенно улучшаются при условии регулярных тренировок, или остаются неизменными.

Наблюдается односторонняя корреляция между показателями рабочей памяти человека и успеваемостью в изучении математических дисциплин: студенты, демонстрирующие хорошую успеваемость в обучении, обладают высоким уровнем развития рабочей памяти. В то же время студенты, у которых уровень развития рабочей памяти низкий, успеваемости в обучении не демонстрируют. Рабочая память лежит в основе способностей к обучению: она необходима, но недостаточна для успеваемости.

Работа с тренажерами для отстающих студентов и школьников может быть единственной формой когнитивной активности, в которой задействована их рабочая память на пределе возможностей, поскольку ученики с недостатком рабочей памяти при решении задач по математике или физике идут по пути поиска аналогий: они ищут, как были решены подобные задачи, и пытаются копировать решение [14, с. 245–246]. Это не способствует развитию рабочей памяти и не позволяет им научиться решать задачи с иным условием.

Название тренажера	Режимы работы	Параметры измеряемые или устанавливаемые	Уровень развития рабочей памяти		
			высокий	средний	низкий
«Устный счет»	Произведение двухзначного числа на однозначное; разность трехзначного и двухзначного чисел; деление трехзначного числа на однозначное	Среднее время выполнения операции	не более 8 с.	9–12 с.	более 12 с.
«Золотой Снитч»	Четыре «кольца»	Число «перелетов»	19	15	7
		Время одного «перелета»	1500 мс	2000 мс	2500 мс
«Матрица»	Количество элементов на стороне квадрата равно семи	Среднее время выполнения операции для цифр, букв и цветов	не более 12 с.	13–17 с.	более 17 с.
«Мост»	Три «зверя» на мосту	Время наблюдения за перемещениями зверей	60 с.	30 с.	30 с.
		Период появления зверей на мосту	1500 мс	1500 мс	2000 мс
«Многоугольники»	Размер сетки 6×3, число углов у многоугольников равно семи	Среднее время выполнения операции	не более 12 с.	13–24 с.	более 24 с.
«Мысленное вращение»	Число отрезков три, время безошибочной работы не менее трех минут	Число упражнений за одну минуту	более 11	от 8 до 11	менее 8

Замечено, что выполнение упражнений с тренажерами перед началом занятий по математике снижает вероятность сбоев рабочей памяти. Возможно, это связано с притоком крови, обогащенной кислородом, в области мозга, ответственные за функции рабочей памяти.

Тренажер устного счета предлагает выполнять в уме различные арифметические операции. В качестве показателя выбраны упражнения, среднее время выполнения которых заметно отличается у разных людей: умножение двухзначного числа на однозначное, вычитание из трехзначного числа двухзначного и деление трехзначного числа на однозначное. Ожидаемый результат от работы с тренажером: улучшение работы центрального администратора и увеличение емкости артикулярной петли.

В советской школе устный счет рассматривали как инструмент развития способностей, и на каждом уроке арифметики ему отводилось определенное время (5–7 минут [15, с. 59]). В «Методике арифметики» для учителей средней школы автор (Е. С. Березанская) отмечает: «Упражнения в устном счете развивают быстроту ориентировки и память учеников, приучают к постоянному вниманию при выполнении работы [15, с. 58]». По мнению В. М. Бадиса: «Навыки такого счета представляют собой большую ценность и в чисто практическом отношении, так как используются в быту несравненно чаще, чем письменные выкладки, и в отношении развития тех способностей, какие культивируются изучением математики вообще: сообразительности, внимательности, инициативы и т. д. [16, с. 359]». Таким образом, арифметика рассматривалась как формальная дисциплина, направленная на развитие общих интеллектуальных способностей.

При работе с тренажером «Мост» учащийся наблюдает за движениями через мост «зверей», которых может быть до пяти видов: зайцы, лисы, волки, олени и медведи. Настраиваются время наблюдения, период появления на мосту зверей и разрешенные виды зверей, перебегающих через мост в обоих направлениях. Цель – удерживать в уме количество зверей каждого вида, перешедших с левого берега на правый и оставшихся там.

При работе с тренажером «Золотой Снитч» учащийся наблюдает за перелетами «Золотого Снитча» от одного из колец к другому. С каждым кольцом связано целое число, которое можно наблюдать в демонстрационном режиме. В начале игры эти числа равны нулю. Когда «Снитч» прилетает к кольцу, то число, связанное с кольцом, увеличивается на единицу, когда улетает от кольца – уменьшается на единицу. В конце упражнения с одним кольцом связана единица – там «прячется

«Золотой Снитч», а с другими – нули. Если учащийся способен удержать в уме целые числа, связанные с кольцами, и изменять их при перелетах «Золотого Снитча», он правильно укажет в конце игры кольцо, в котором прячется «Золотой Снитч». При этом в уме достаточно удерживать числа, количество которых на единицу меньше, чем число колец. Настраиваются число колец, время наблюдения и период перелета «Снитча».

Тренажеры «Мост» и «Золотой Снитч» построены по аналогии с тестами рабочей памяти типа «интегрированный визуальный-вербальный» [8]: перерабатываемая информация является зрительной, а удерживаемая в памяти (числа) – вербальной. Данные тренажеры развивают все компоненты рабочей памяти.

Цель работы с тренажером «Матрица» – найти отличающиеся элементы двух матриц, последовательно сканируя строчки на левой матрице, сравнивая со строчками на правой, удерживая отсканированную информацию в уме. В качестве элемента могут быть буквы, цифры или цвета. Выполнение упражнения развивает артикулярную петлю и (или) зрительно-пространственный блокнот в зависимости от типа элементов и индивидуальных особенностей восприятия. Когда в качестве элементов цифры тренажер похож на таблицы Шульце (цит. по [17, с. 342]), однако задача испытуемого не отыскивать числа в порядке их возрастания, а найти отличающиеся на левой и правой половинах дисплея.

Цель работы с тренажером «Многоугольники» найти две одинаковые фигуры. Тренажер направлен на развитие зрительно-пространственного блокнота рабочей памяти.

При работе с тренажером «Многоугольники» проявляется эффект «торможение возврата» (inhibition of return). Его суть состоит в том, что сразу после посещения глазом некоторой точки пространства вероятность возврата в эту же точку оказывается очень низкой [2, с. 302]. «Торможение возврата» – природный механизм бессознательного контроля за движением глаз, обеспечивающий эффективность фокального зрения в ходе решения задач на сравнение и идентификацию предметов. Поэтому разработку каких-либо правил или инструкций для работы с тренажером «Многоугольники» автор счел излишней.

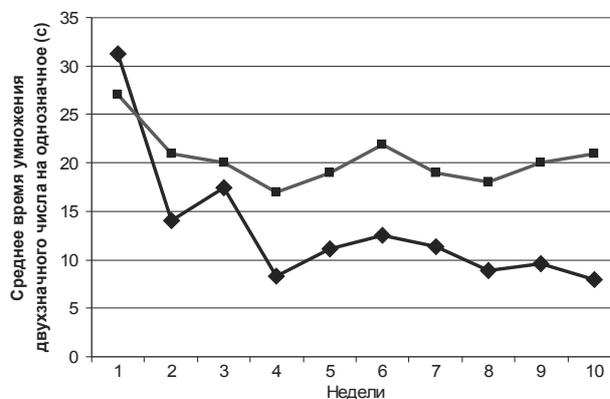
При работе с тренажером «Мысленное вращение» учащемуся предъявляются две трехмерные фигуры на левой и правой половинах дисплея. Эти фигуры либо одинаковы, либо одна фигура является зеркальным отображением другой. Мысленно вращая одну из фигур, их нужно совместить в уме. Если фигуры одинаковы, необходимо нажать кнопку «равно», если зеркально симметрич-

ны – «не равно». Настраиваются число отрезков, из которых состоят фигуры, и максимальная длина отрезка. Работа с тренажером развивает пространственную составляющую зрительно-пространственного блокнота рабочей памяти.

Данный тренажер является компьютеризированной версией опытов Р. Шепарда и Дж. Метцлера (цит. по [2, с. 393]). У разных людей наблюдаются разные уровни развития пространственных способностей [18]. В ходе информатизации образования для реализации принципа наглядности в обучении используется все больше различных трехмерных моделей. Однако пользу от этих трехмерных моделей в процессе обучения получают только студенты с высокими пространственными способностями, в то время как студенты с низкими пространственными способностями мало чему учатся таким образом [18]. Кроме того, пространственное мышление и воображение играют исключительно важную роль в инженерной и научной деятельности (цит. по [13]). Данный тренажер позволяет оценить пространственные способности и скорректировать при необходимости учебный процесс.

В некоторых случаях при регулярной работе с тренажерами в течение нескольких месяцев (от одного до пяти) наблюдаются положительные изменения в рабочей памяти (рисунок), вследствие чего снижается вероятность ее сбоев в учебном процессе и заметно улучшаются восприятие и понимание математики студентами, испытывавшими при ее изучении объективные трудности. Это согласуется

с результатами исследований формирования когнитивных навыков, проведенных Найссером, что заметные сдвиги когнитивных способностей наблюдались только «после продолжавшейся несколько месяцев тренировки» (цит. по [2, с. 304]).



Изменение среднего времени устного счета в результате тренировок у двух учеников. У одного наблюдается заметное улучшение рабочей памяти после двух месяцев тренировок, у другого – нет

Опубликованные тренажеры дают возможность студентам и школьникам, испытывающим объективные трудности при изучении математических дисциплин, как самостоятельно оценить свою рабочую память, так и улучшить ее работу с помощью регулярных упражнений. Студентам с недостатком рабочей памяти рекомендуется ежедневно выполнять упражнения с тренажерами.

Список литературы

1. Крутецкий В. А. Психология математических способностей школьников / Под ред. Н. И. Чуприковой. М.: Издательство «Институт практической психологии»; Воронеж: Издательство НПО «МОДЭК», 1998. 416 с.
2. Величковский Б. М. Когнитивная наука: Основы психологии познания: в 2 т. Т.1. М.: Смысл: Издательский центр «Академия», 2006. 448 с.
3. Barrouillet P., Fayol M., Lathulière E. Selecting between competitors in multiplication tasks: An explanation of the errors produced by adolescents with learning disabilities // *International Journal of Behavioral Developments*, 21, (1997), pp. 253–275.
4. Geary D. C., Brown S. C., Samaranayake V. A. Cognitive addition: A short longitudinal study of strategy choice and speed-of-processing differences in normal and mathematically disabled children. // *Developmental Psychology*, 27, (1991), pp. 787–797.
5. Jordan N. C., Montani T. O. Cognitive arithmetic and problem solving: A comparison of children with specific and general mathematical difficulties // *Journal of Learning Disabilities*, 30, (1997), pp. 624–634.
6. Geary D. C. Mathematical disabilities: Cognitive, neuropsychological, and genetic components // *Psychological Bulletin*, 114, (1993), pp. 345–362.
7. Alloway T. P., Gathercole S. E. (2006). How does working memory work in the classroom? // *Educational Research and Reviews* Vol. 1 (4), pp. 134–139, July 2006.
8. Bayliss D. M., Jarrold C., Baddeley A. D., Gunn D. M. The relationship between short-term memory and working memory: Complex span made simple? // *MEMORY*, 2005, 13 (3/4), 414–421.
9. Gathercole S. E., Lamont E., Alloway T. P. Working Memory in the Classroom. // <http://www.york.ac.uk/res/wml/>
10. Lépine R., Barrouillet P., Camos V., (2005) What makes working memory spans so predictive of high-level cognition? // *Psychonomic Bulletin & Review* 2005, 12 (1), 165–170.
11. Passolunghi M. C., Siegel L. S. Working memory and access to numerical information in children with disability in mathematics // *Experimental Child Psychology* 88 (2004) 348–367.

12. Hutton U. M. Z., Towse J. N. Short-term memory and working memory as indices of children's cognitive skills // MEMORY, 2001, 9 (4/5/6), 383–394.
13. Baddeley A. D. (2003). Working memory: looking back and looking forward // Nature Reviews Neuroscience, Oct 1, 2003, pp. 829–839.
14. Андерсон Дж. Когнитивная психология. 5-е изд. СПб.: Питер, 2002. 496 с.
15. Березанская Е. С. Методика арифметики. Пособие для учителей. Издание 5-е перераб. М.: Государственное учебно-педагогическое издательство Министерства просвещения РСФСР, 1955. 544 с.
16. Брадис В. М. Устный и письменный счет. Вспомогательные средства вычислений // Энциклопедия элементарной математики под редакцией П. С. Александрова, А. И. Маркушевича, А. Я. Хинчина. Книга первая. Арифметика. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1951. С. 355–441.
17. Бурлачук Л. В. Словарь-справочник по психодиагностике. 3-е изд. СПб.: Питер, 2007. 688 с.
18. Huk. T. Who benefits from learning with 3D models? the case of spatial ability // Journal of Computer Assisted Learning, Volume 22, Number 6, December 2006, pp. 392–404(13).

Пигарев А. Ю., кандидат педагогических наук, доцент.

Новосибирский государственный университет экономики и управления.

Ул. Каменская, 56, г. Новосибирск, Новосибирская область, Россия, 630099.

E-mail: physflash@yandex.ru

Материал поступил в редакцию 23.01.2009.

A. Yu. Pigarev

**DEVELOPMENT OF WORKING MEMORY BY MEANS OF COMPUTER TRAINERS
AS A MEANS OF OVERCOMING OF OBJECTIVE DIFFICULTIES
DURING STUDYING MATHEMATICAL DISCIPLINES**

The technique of development of working memory for the students experiencing objective difficulties in studying mathematical disciplines because of lack of working memory is offered. The technique is based on the computer trainers created by the author (<http://mathtutor.narod.ru>). Theoretical basis of the work is the theory of working memory of Alan Baddeley, and also data of empirical researches about high correlation between parameters of working memory and abilities to studying mathematics.

Key words: *mathematical abilities, working memory, computer trainers.*

Novosibirsk State University of Economics and Management.

Ul. Kamenskaya, 56, Novosibirsk, Novosibirsk Oblast, Russia, 630099.

E-mail: physflash@yandex.ru