

Научная статья
УДК 373.5; 37.02; 51; 004
<https://doi.org/10.23951/2307-6127-2023-5-102-110>

Компьютерные тренажеры как инструмент преодоления трудностей в изучении математики

Александр Юрьевич Пигарев

*Новосибирский государственный университет экономики и управления, Новосибирск, Россия,
physflash@yandex.ru*

Аннотация

Дефицит рабочей памяти рассматривается как основная причина трудностей в усвоении математики. Для преодоления трудностей в усвоении математики предлагаются компьютерные тренажеры рабочей памяти на основе математического контента. Если тренажеры не имеют математической составляющей, а направлены лишь на улучшение работы основных компонентов рабочей памяти человека (артикуляционной петли, зрительно-пространственного блокнота и центрального администратора), то занятия с ними не приводят к заметному улучшению академической успеваемости, возможно, по причине существенного отставания от текущей программы. Разработанные автором компьютерные тренажеры, доступные на сайте workingmemory.ru, направлены как на развитие базовых вычислительных навыков, так и тренировку рабочей памяти. Тематика тренажеров определялась как на основе собственных наблюдений автора, так и на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ, опубликованных на сайте Федерального института педагогических измерений (fipi.ru). На момент публикации создано и апробировано девять тренажеров. Тренажеры доступны по адресу: workingmemory.ru сразу после регистрации. В работе представлены данные апробации тренажеров на курсах подготовки к ЕГЭ и их сравнение с результатами исследований других авторов. Представлены средние времена выполнения одного расчетного задания, даны практические рекомендации. Обосновано использование авторских тренажеров как инструмента развития вычислительных навыков, повышения эффективности занятий по математике и тренировки рабочей памяти учащихся.

Ключевые слова: обучение математике, рабочая память, компьютерный тренажер, устный счет, цифровизация образования

Для цитирования: Пигарев А. Ю. Компьютерные тренажеры как инструмент преодоления трудностей в изучении математики // Научно-педагогическое обозрение (Pedagogical Review). 2023. Вып. 5 (51). С. 102–110. <https://doi.org/10.23951/2307-6127-2023-5-102-110>

Original article

Computer trainers as a tool to overcome difficulties in learning mathematics

Alexander Yu. Pigarev

*Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russian Federation,
physflash@yandex.ru*

Abstract

It is the lack of working memory that is considered as the main reason for the difficulties in mastering mathematics. To overcome difficulties in mastering mathematics, computer trainers of working memory based on mathematical content are offered. If trainers do not have a mathematical component, but are aimed only at improving the functioning of the main components of a person's working memory (articulation loop, visual-spatial notepad and central administrator), then classes with them do not lead to a noticeable improvement in academic performance, perhaps due to a significant lag behind current

program. The computer trainers developed by the author and available on the site workingmemory.ru are aimed at both developing basic computing skills and training working memory. The subject of trainers was determined both on the basis of the author's own observations and on the basis of an analysis of typical mistakes of USE participants published on the Federal Institute of Pedagogical Measurements website (fipi.ru). At the time of publication, nine trainers have been created and tested. The trainers are available at workingmemory.ru immediately after registration. The paper presents the data of approbation of trainers in the preparation courses for the Unified State Examination and their comparison with the results of studies by other authors. The average time to complete one calculation task is presented, practical recommendations are given. The use of author's trainers as a tool for developing computational skills, increasing the efficiency of mathematics classes and training the working memory of students is substantiated.

Keywords: *teaching mathematics, working memory, mental counting, digitalization of education*

For citation: Pigarev A. Yu. Computer trainers as a tool to overcome difficulties in learning mathematics [Komp'yuternye trenazhery kak instrument preodoleniya trudnostey v izuchenii matematiki]. *Nauchno-pedagogicheskoye obozreniye – Pedagogical Review*, 2023, vol. 5 (51), pp. 102–110. <https://doi.org/10.23951/2307-6127-2023-5-102-110>

Устойчивые объективные трудности в изучении математики испытывают порядка 5–8 % школьников во всех возрастных группах [1]. Отечественные авторы акцентируют внимание на системном характере проблемы неуспеваемости, включающей мотивационные, когнитивные, рефлексивно-оценочные и эмоционально-волевые аспекты [2]. Однако некоторые западные авторы в качестве основной причины устойчивой неспособности к математике выделяют недостаток рабочей памяти «...memory skills uniquely predicted mathematical skills and arithmetical abilities» [3, с. 136]. А в качестве решения проблемы предлагают тренировку рабочей памяти на специальных компьютерных тренажерах рабочей памяти [4].

Рабочая память определяет способность сохранять краткое время и изменять информацию в процессе решения различных задач. Она состоит из кратковременного хранилища фонологической информации, кратковременного хранилища зрительной информации и центрального администратора, который преобразует хранящуюся в них информацию (рис. 1).

Построение ментальных моделей при решении математических задач, удержание результатов промежуточных вычислений и их преобразование происходят в рабочей памяти [5].

Разработано множество программ коррекции рабочей памяти с помощью компьютерных тренажеров. Например: cogmed.com, lumosity.com, junglememory.com. Однако тренировка рабочей памяти на классических тренажерах улучшает рабочую память на стандартных тестах, но это улучшение не сказывается на успеваемости по математике: «Using non-numerical stimuli during WM training may limit transfer to mathematical or numerical skills» [6]. Есть четыре основных прототипа тренажеров рабочей памяти, и они не имеют арифметической составляющей:

1. Упражнение на тренировку объема рабочей памяти (*the working memory span task*). В ходе его выполнения необходимо запоминать некоторое количество n стимулов. Задача сравнить $(n+1)$ -й стимул с ранее представленными и ответить на вопрос, был ли он среди них [7].

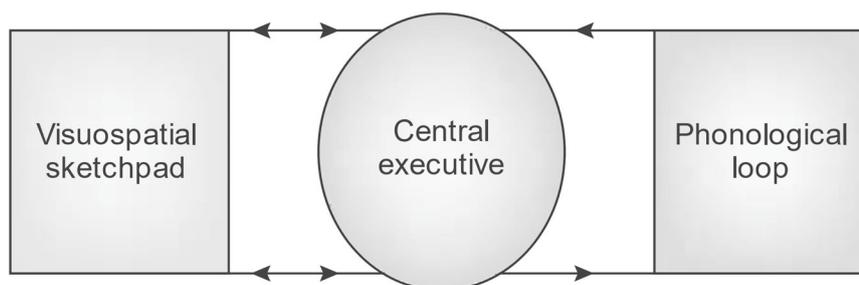


Рис. 1. Трехкомпонентная модель рабочей памяти А. Бэддели [5]

2. Комплексная задача на рабочую память (*the complex working memory span tasks*). Необходимо не только запоминать некоторое количество стимулов (от одного и более), но в промежутке между предъявлением и узнаванием запоминаемых стимулов выполнить некоторую логическую операцию, или арифметическую (оценить правильность формулы), или пространственную (оценить симметричность картинки) [8].

3. Задание на абстрактные формы (*the abstract shapes task*). Необходимо держать в уме правила (от одного и более), согласно которым показываемые на экране формы (геометрические фигуры, рисунки, слова, механизмы, фрукты, животные, цифры, буквы и т. д.) относятся к группе А или группе Б. И за ограниченное время (порядка секунды) необходимо на основе правил принять решение, к какой группе относится стимул, и нажать соответствующую кнопку [9]. Варьируется число правил и время на принятие решения (от 750 мс до 2500 мс). Число представляемых «абстрактных форм» должно быть достаточно велико, чтобы исключить принятие решений на основе долговременной памяти.

4. Задача *n*-назад (*the n-back task*) представляет собой одномодальную или двухмодальную последовательность стимулов. Одномодальная последовательность представляет собой либо ряд озвученных букв, либо последовательность вспышек лампочек матрицы. Двухмодальная последовательность – это два синхронизированных ряда стимулов. Число *n* может быть 1, 2 или 3. Это количество промежуточных стимулов между новым и тем, с которым его нужно сравнить. Если совпадают вербальные стимулы – нажать одну кнопку. Визуальные – другую. Оба – нажать обе кнопки. Как и в заданиях на абстрактные формы есть только две кнопки. Это наиболее известный и популярный тренажер, включенный в учебную программу средней школы в некоторых странах [10] как инструмент развития подвижного интеллекта.

На основе этих прототипов создано все великое множество различных вариантов компьютерных тренажеров рабочей памяти разными коммерческими фирмами. Однако улучшение рабочей памяти не оказывает мгновенного влияния на академическую успеваемость по математике: «If training programs can increase WM capacity, and WM facilitates learning, why don't these training programs facilitate greater learning? At present, we simply don't know the answer to this question» [11]. Возможно, трансфер не наблюдается в силу значительного отставания проблемных учеников от текущей программы.

Для решения проблемы автор создал систему компьютерных тренажеров, которые, с одной стороны, позволяют автоматизировать базовые вычислительные навыки, чтобы арифметические операции не перегружали рабочую память, и тем самым освободить ее ресурсы для понимания математических концептов. С другой стороны, позволяют тренировать рабочую память на основе решения в уме стандартных вычислительных задач школьного курса, когда условия задач или временные ограничения нагружают рабочую память на пределе возможностей. Тренировка рабочей памяти происходит при решении любых вычислительных задач, в которых необходимо либо удерживать промежуточные результаты в памяти, либо преобразовывать ментальные модели (числовой оси, векторов или геометрических фигур). Важно, как при любой тренировке физических возможностей человека, выполнять задания, стараясь делать это как можно быстрее и точнее, чему способствуют настройки компьютерной программы.

Тематика тренажеров определялась как на основе собственных наблюдений автора, так и на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ [12].

Компьютерные тренажеры доступны по адресу: <https://www.workingmemory.ru/>. Для доступа необходимо лишь зарегистрироваться – указать электронный адрес, по которому будет выслан пароль. Отличительные особенности созданных компьютерных тренажеров:

1. Компьютер генерирует в неограниченном количестве практически неповторяющиеся упражнения. Учителю не надо тратить время на их разработку или поиск.

2. Выполненные упражнения проверяются автоматически, и при неправильном ответе ученик должен переделать задание. Учителю не надо проверять выполненные упражнения.

3. Количество сделанных упражнений, скорость и частота ошибок сохраняются в базе данных. Достаточно посмотреть записи на сервере, и учитель видит, с каким результатом тренируется каждый ученик.

4. Тренажеры настраиваются на исходный уровень школьника, адаптируются к его возможностям. Например, упражнения на тренировку устного счета разделены на пять уровней. А в тренажере «Тригонометрическая окружность» есть режим, когда числа кратны. Каждый может выполнять их в своем темпе и согласно своим возможностям.

5. Продолжительность тренировок, количество упражнений, необходимое для достижения результатов, определяются индивидуально. Кому-то достаточно одного раза, а иной должен выполнять упражнения на протяжении нескольких месяцев, пока не сформируются необходимые вычислительные навыки.

Компьютерные тренажеры используются уже более пяти лет. В начале было разработано три, теперь их на сайте уже девять. Участники эксперимента – это слушатели курсов подготовки к ЕГЭ, а также случайные посетители сайта, прошедшие процедуру регистрации и оставившие свой «электронный след» в базе данных на сервере. Всего было создано 74 аккаунта. Цифровой след в виде записей о продолжительных (более месяца) занятиях оставили 43 школьника.

Все девять тренажеров можно разделить на три группы по критерию направленности воздействия:

1. Тренажеры, направленные на развитие арифметических навыков и тренировку рабочей памяти (рис. 2).

2. Тренажеры, развивающие ключевые математические навыки в геометрии и тригонометрии (рис. 3).

3. Тренажеры развивающие вычислительные навыки в алгебре (рис. 4).

Выбор тем тренажеров второй и третьей группы основан на наблюдениях за трудностями, с которыми сталкиваются учащиеся при усвоении соответствующих разделов математики. Так, например, при решении тригонометрических уравнений и неравенств зачастую не хватает навыка работы с тригонометрической окружностью. А неумение решать пропорции зачастую препятствует решению текстовых задач на прямую и обратную зависимость.

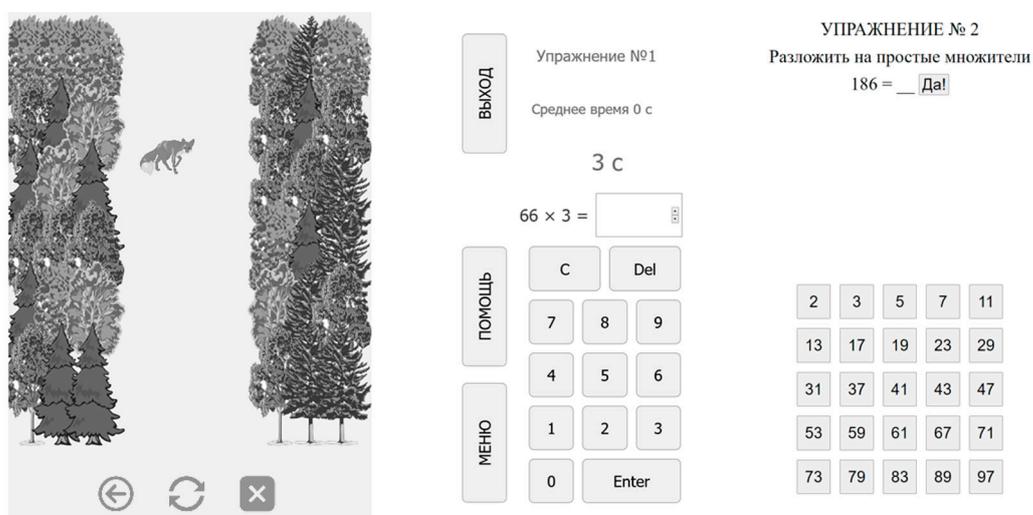


Рис. 2. Тренажеры, направленные на развитие арифметических навыков и тренировку рабочей памяти: «Лесной марафон», «Устный счет», «Разложение на простые множители»

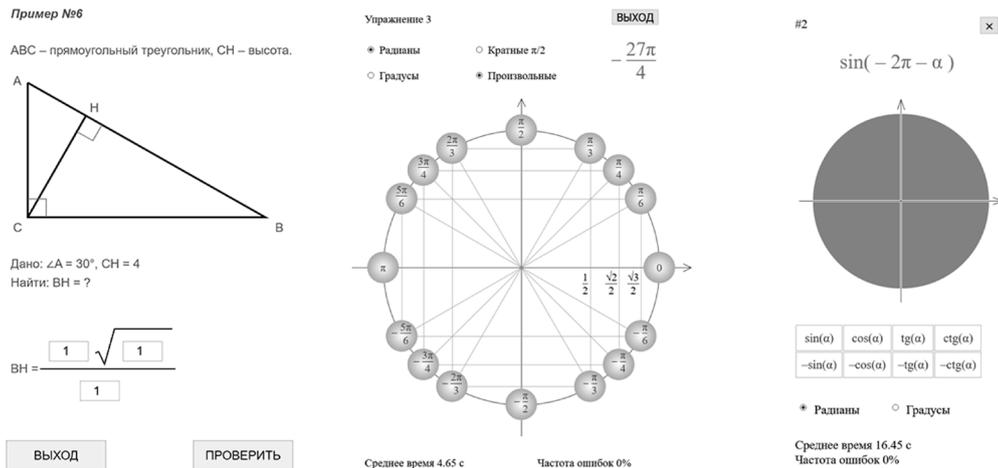


Рис. 3. Тренажеры, развивающие ключевые математические навыки в геометрии и тригонометрии: «Прямоугольный треугольник», «Тригонометрическая окружность», «Формулы приведения»

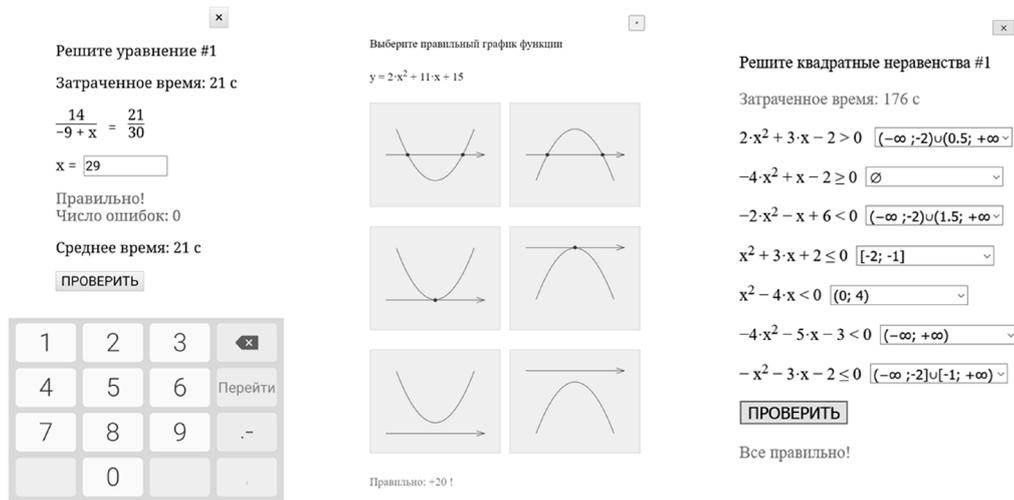


Рис. 4. Тренажеры развивающие вычислительные навыки в алгебре: «Решение пропорций», «График квадратичной функции», «Квадратное неравенство»

Компьютерные тренажеры как инструмент развития вычислительных навыков

В табл. 1 представлены вычислительные навыки, развиваемые с помощью компьютерных тренажеров.

Таблица 1

Вычислительные навыки, развиваемые с помощью компьютерных тренажеров
<https://www.workingmemory.ru/>

Наименование тренажера	Развиваемый вычислительный навык	Классы
«Лесной марафон»	Удержание в рабочей памяти («в уме») результатов промежуточных вычислений (чисел) от одного до пяти	1–11
«Устный счет»	Устный счет, в том числе приемы эффективного счета на основе декомпозиций	2–11
«Разложение на простые множители»	Разложение составных чисел на простые множители	3–11
«Решение пропорций»	Решение простейших дробно-рациональных уравнений	6–11

Наименование тренажера	Развиваемый вычислительный навык	Классы
«График квадратичной функции»	Схематичное построение графика квадратичной функции	8–11
«Квадратное неравенство»	Решение квадратичных неравенств	8–11
«Тригонометрическая окружность»	Нахождение точки на числовой окружности, соответствующей заданному значению переменной как в радианах, так и в градусах	10–11
«Формулы приведения»	Применение формул приведения для упрощения тригонометрических выражений	10–11
«Прямоугольный треугольник»	Решение прямоугольного треугольника: установление соотношения между его сторонами через тригонометрические функции острых углов	8–11

Основная проблема, для решения которой тренажеры были изначально задуманы, – помочь школьникам, испытывающим устойчивые объективные трудности, с усвоением математики. По наблюдениям В. А. Крутецкого, «...неспособных учеников нужно длительно тренировать, упражнять на специально подобранном материале, охватывающем все возможные случаи и комбинации существенных признаков, чтобы им стала доступной более или менее элементарная степень обобщения» [13, с. 258–259].

Проблема недостаточного развития вычислительных навыков является ключевой и для успешной сдачи ЕГЭ: «...вычислительные ошибки остаются основной причиной неверного выполнения заданий: при правильных рассуждениях и разумном алгоритме решения экзаменуемые часто получают неверный ответ за счет ошибок в решении простейших уравнений и при выполнении арифметических действий» [12, с. 63].

При условии адаптивной тренировки вычислительных навыков на компьютерных тренажерах минимум три раза в неделю в дополнение к корректирующим занятиям, а лучше непосредственно в начале этих занятий успеваемость по математике удастся существенно повысить. Школьники не только начинают считать без помощи калькулятора, но и воспринимать как конкретные (натуральные числа, дроби), так и абстрактные математические концепты (переменные, уравнения). Тренировка устного счета улучшает восприятие математических абстракций, возможно, по причине того, что рабочая память не испытывает перегрузок от операций с числами и ее ресурсы высвобождаются для восприятия математических моделей.

Компьютерные тренажеры как инструмент повышения эффективности занятий по математике

Упражнения на тренажерах перед началом основных или дополнительных занятий по математике повышают эффективность этих занятий: улучшают концентрацию внимания, увеличивают количество выполненных заданий, уровень сложности и качество усвоения материала. Данный вывод сделан на основе внутригруппового плана исследований: одно занятие проводим сходу, фиксируем количество решенных заданий. Перед началом другого занятия проводим десятиминутную тренировку на компьютерных тренажерах устного счета и (или) упражнений на треугольник или тригонометрическую окружность (в зависимости от тематики занятия). И также фиксируем количество решенных заданий и достигнутый уровень сложности. Оказалось, что количество решенных задач или разобранных примеров на 20 % выше, если в начале занятия актуализировать навыки устного счета.

В этом выводе нет ничего нового. Практика обязательного устного счета в начале урока по математике существовала в советской школе при проведении занятий в 5–6 классах: «...пять минут устных упражнений в начале урока ради сорока минут эффективной работы и достижения поставленной цели» [14].

Компьютерные тренажеры как инструмент развития рабочей памяти

Методика тренировки рабочей памяти с помощью устного счета впервые представлена в работе [15]. За основу взята техника умножения, сложения и вычитания многозначных чисел «как на бумаге, только в уме». Основной вывод этой работы: «WM training without intensive adaptive training does not cause an increase in general WM capacity». То есть важно не просто тренировать устный счет как таковой. Важно выполнять упражнения на пределе возможностей, чтобы мозг был максимально загружен. Также представлены две основных схемы тренировки рабочей памяти с помощью устного счета: 1) последовательное повышение сложности расчетных заданий; 2) ограничение по времени, отводимое на решение одного примера. Данные принципы реализованы и в авторском тренажере устного счета, но с некоторыми особенностями. В авторском тренажере, как и в работе [15], последовательное повышение сложности достигается за счет повышения разрядности обрабатываемых чисел. А что касается ограничения по времени, то в работе [15] компьютер задает временной интервал, в который ученик должен уложиться при сложении двузначных чисел. В авторской системе тренажеров время на выполнение отдельного задания не ограничено, но есть установка, что среднее время выполнения одного примера должно не превышать значений, представленных в табл. 2.

Таблица 2

Среднее время выполнения одного расчетного задания, к которому необходимо стремиться в работе с тренажерами

Тренажер	Среднее значение с учетом среднеквадратичного отклонения (с)
Устный счет. Сложение двузначных чисел	3 ± 2
Устный счет. Произведение двузначного и однозначного числа	7 ± 3
Устный счет. Произведение двухзначных чисел	20 ± 11
Решение пропорций	13 ± 9
Тригонометрическая окружность	13 ± 11
Формулы приведения	21 ± 5
Прямоугольный треугольник	25 ± 6

В работе [15] представлено среднее время, достигаемое по результатам тренировок, только для сложения двузначных чисел. И оно совпадает с данными табл. 2.

Есть одно важное отличие авторского подхода к тренировке рабочей памяти с помощью компьютерных тренажеров. Если в работе [15] ученики должны выполнять в уме расчетные задания по технике «как на бумаге, только в уме», то в авторской системе выделены пять уровней: «новичок», «школьник», «абитуриент», «знаток» и «мастер». И на двух последних уровнях «знаток» и «мастер» ученики знакомятся с эффективными методиками быстрого устного счета в уме на основе декомпозиций, а не «как на бумаге». Такой подход не только повышает мотивацию учащихся, но и позволяет им овладеть очень полезными приемами устного счета, которые пригодятся при сдаче государственных экзаменов.

Тренажер «Лесной марафон» напрямую направлен на развитие артикуляционной петли. Нужно удерживать в ней числа от одного до пяти – количества зверей каждого вида, перебежавших направо. Числа – математический контент – именно их надо удерживать в уме как промежуточные результаты разных вычислений. Большинство учащихся после тренировок могут удерживать три числа. Порядка пяти процентов учащихся могут удерживать четыре и даже пять, что свидетельствует об объеме их артикуляционной петли выше среднего.

Таким образом, использование компьютерных тренажеров позволяет автоматизировать некоторые аспекты работы учителя с учащимися, испытывающими объективные трудности в усвоении математики: развивать вычислительные навыки, тренировать рабочую память и повышать в целом эффективность уроков математики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Geary D. C. Mathematics and Learning Disabilities // *Journal of Learning Disabilities*. 2004. № 37. P. 4–15.
2. Кислякова М. А. Неуспеваемость учащихся по математике как психолого-педагогический феномен // *Наука и школа*. 2021. № 3. С. 200–211.
3. Alloway T. P., Passolunghi M. C. The relationship between working memory, IQ and mathematical skills in children // *Learning and Individual Differences*. 2011. Vol. 21 (1). P. 133–137. doi: 10.1016/j.lindif.2010.09.013
4. Berger E. M., Fehr E., Hermes H., Schunk D., Winkel K. The Impact of Working Memory Training on Children’s Cognitive and Noncognitive Skills (June 8, 2020). University of Zurich, Department of Economics. Working Paper No. 347. 2020. URL: <https://ssrn.com/abstract=3622337>; <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3622337> (дата обращения: 30.01.2023).
5. Baddeley A. Working memory: Looking back and looking forward // *Nature Reviews*. 2003. Vol. 4. P. 829–839. doi: 10.1038/nrn1201
6. Muñoz D., Lee K., Bull R., Khng K. H., Cheam F., Rahim R. A. Working memory and numeracy training for children with math learning difficulties: Evidence from a large-scale implementation in the classroom // *Journal of Educational Psychology*. 2022. № 114 (8). P. –1880. doi: 10.1037/edu0000732 (дата обращения: 30.01.2023).
7. Conway A. R. A., Kane M. J., Bunting M. F. et al. Working memory span tasks: A methodological review and user’s guide // *Psychonomic Bulletin & Review*. 2005. № 12. P. 769–786. doi: 10.3758/BF03196772 (дата обращения: 30.01.2023).
8. Shipstead Z., Redick T. S., Engle R. W. Is working memory training effective? // *Psychological Bulletin*. 2012. № 138 (4). P. 628–654. doi: 10.1037/a0027473 (дата обращения: 30.01.2023).
9. Davidson M. C., Amso D., Anderson L. C., Diamond A. Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching // *Neuropsychologia*. 2006. № 44 (11). P. 2037–2078. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006 (дата обращения: 30.01.2023).
10. Pelegrina S., Lechuga M. T., García-Madruga J. A., Elosúa M. R., Macizo P., Carreiras M., Fuentes L. J., Bajo M. T. Normative data on the n-back task for children and young adolescents // *Front Psychol*. 2015. № 6. P. 1544. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01544 (дата обращения: 30.01.2023).
11. Watson A. C. *Learning Begins: The Science of Working Memory and Attention for the Classroom Teacher (A Teacher’s Guide to the Learning Brain)*. Rowman & Littlefield Publishers, 2017. 172 p.
12. Яценко И. В., Высоцкий И. Р., Семенов А. В. Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2022 года по математике // *Педагогические измерения*. 2022. № 4. С. 61–83.
13. Крутецкий В. А. Психология математических способностей школьников / под ред. Н. И. Чуприковой. Москва: Ин-т практической психологии; Воронеж: МОДЭК, 1998. 416 с.
14. Карпушина Н. М. Парадокс обывателя, или Зачем нужен устный счет // *Математика в школе*. 2013. № 7. С. 3–8.
15. Takeuchi H., Taki Y., Sassa Y., Hashizume H., Sekiguchi A., Fukushima A., Kawashima R. Working memory training using mental calculation impacts regional gray matter of the frontal and parietal regions // *PLoS One*. 2011. № 6 (8). e23175. doi: 10.1371/journal.pone.0023175 (дата обращения: 30.01.2023).

References

1. Geary D.C. Mathematics and Learning Disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 2004, no. 37, pp. 4 – 15.
2. Kislyakova M. A. Neuspevaemost’ uchaschihsya po matematike kak psikhologo-pedagogicheskiy fenomen [Student underachievement in mathematics as a psychological and pedagogical phenomenon]. *Nauka i shkola*, 2021, no. 3, pp. 200–211 (in Russian).
3. Alloway T. P., Passolunghi M. C. The relationship between working memory, IQ and mathematical skills in children. *Learning and Individual Differences*, 2011, vol. 21(1), pp. 133–137. doi: 10.1016/j.lindif.2010.09.013

4. Berger E. M., Fehr E., Hermes H., Schunk D., Winkel K. *The Impact of Working Memory Training on Children's Cognitive and Noncognitive Skills* (June 8, 2020). University of Zurich, Department of Economics, Working Paper No. 347, 2020, Available at SSRN: URL: <https://ssrn.com/abstract=3622337> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3622337> (accessed 30 January 2023).
5. Baddeley A. Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews*, 2003, vol. 4, pp. 829–839. doi: 10.1038/nrn1201
6. Muñoz D., Lee K., Bull R., Khng K. H., Cheam F., Rahim R. A. Working memory and numeracy training for children with math learning difficulties: Evidence from a large-scale implementation in the classroom. *Journal of Educational Psychology*, 2022, no. 114 (8), pp. 1866–1880. URL: <https://doi.org/10.1037/edu0000732> (accessed 30 January 2023).
7. Conway A. R. A., Kane M. J., Bunting M. F. et al. Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2005, no. 12, pp. 769–786 (2005). URL: <https://doi.org/10.3758/BF03196772> (accessed 30 January 2023).
8. Shipstead Z., Redick T. S., Engle R. W. Is working memory training effective? *Psychological Bulletin*, 2012, no. 138(4), pp. 628–654. doi:10.1037/a0027473 URL: <https://doi.org/10.1037/a0027473> (accessed 30 January 2023).
9. Davidson M. C., Amso D., Anderson L. C., Diamond A. Development of cognitive control and executive functions from 4 to 13 years: evidence from manipulations of memory, inhibition, and task switching. *Neuropsychologia*, 2006, no. 44 (11), pp. 2037–2078. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.006> (accessed 30 January 2023).
10. Pelegrina S., Lechuga M. T., García-Madruga J. A., Elosúa M. R., Macizo P., Carreiras M., Fuentes L. J., Bajo M. T. Normative data on the n-back task for children and young adolescents. *Front Psychol*, 2015, no. 6, p. 1544. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01544. URL: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01544> (accessed 30 January 2023).
11. Watson A. C. *Learning Begins: The Science of Working Memory and Attention for the Classroom Teacher (A Teacher's Guide to the Learning Brain)*. Rowman & Littlefield Publishers, 2017. 172 p.
12. Yashchenko I. V., Vysotskiy I. R., Semenov A. V. Metodicheskiye rekomendatsii dlya uchiteley, podgotovlennyye na osnove analiza tipichnykh oshibok uchastnikov EGE 2022 goda po matematike [Methodological recommendations for teachers prepared on the basis of an analysis of typical mistakes of participants in the USE 2022 in mathematics]. *Pedagogicheskiye izmereniya*, 2022, no. 4, pp. 61–83 (in Russian).
13. Krutetskiy V. A. *Psikhologiya matematicheskikh sposobnostey shkol'nikov*. Pod redaktsiyei N. I. Chuprikovoy [Psychology of mathematical abilities of schoolchildren. Edited by N. I. Chuprikova]. Moscow, Izdatel'stvo Institute of Practical Psychology and Psychoanalyses Publ., Voronezh, MODEK Publ., 1998. 416 p. (in Russian).
14. Karpushina N. M. Paradoks obyvatelya, ili Zachem nuzhen ustnyy schyot [The paradox of the inhabitant, or Why do we need an oral account]. *Matematika v shkole*, 2013, no. 7, pp. 3–8 (in Russian).
15. Takeuchi H., Taki Y., Sassa Y., Hashizume H., Sekiguchi A., Fukushima A., Kawashima R. Working memory training using mental calculation impacts regional gray matter of the frontal and parietal regions. *PLoS One*, 2011 no. 6(8), e23175. Doi: 10.1371/journal.pone.0023175. Epub 2011 Aug 23. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023175> (accessed 30 January 2023).

Информация об авторе

Пигарев А. Ю., кандидат педагогических наук, доцент, Новосибирский государственный университет экономики и управления (ул. Каменская, 56, Новосибирск, Россия, 630099).
E-mail: physflash@yandex.ru

Information about the author

Pigarev A. Yu., Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Novosibirsk State University of Economics and Management (ul. Kamenskaya, 56, Novosibirsk, Russian Federation, 630099).
E-mail: physflash@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 30.01.2023; принята к публикации 04.09.2023

The article was submitted 30.01.2023; accepted for publication 04.09.2023