

Научная статья
УДК 37.015.31
<https://doi.org/10.23951/2307-6127-2022-1-36-43>

ВНЕДРЕНИЕ КОГНИТИВНОЙ ТРЕНИРОВКИ В ПРОЦЕСС ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ

Александр Юрьевич Пигарев

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

Аннотация

Недостаток рабочей памяти приводит к устойчивой неспособности к изучению математики. Рабочая память поддается тренировке, однако улучшение когнитивных функций не обеспечивает автоматического трансфера в академическую успеваемость по причине глубокого отставания таких учеников от программы.

Предлагается проводить тренировку рабочей памяти в контексте математических знаний. Автор создал систему компьютерных тренажеров рабочей памяти на основе ключевых разделов школьной программы по математике. Встраивание когнитивной тренировки в учебный контент снимает проблему «дальнего переноса», поскольку положительный эффект на академическую успеваемость проявляется сразу.

Анализ статистических данных на сервере подтверждает значительные индивидуальные различия в рабочей памяти, а также гипотезу о том, что в результате тренировок улучшается стратегия использования ресурсов рабочей памяти, а не объем ее кратковременных хранилищ.

Ключевые слова: обучение математике, рабочая память, компьютерный тренажер, интервальные повторения

Для цитирования: Пигарев А. Ю. Внедрение когнитивной тренировки в процесс обучения математике // Научно-педагогическое обозрение. 2022. Вып. 1 (41). С. 36–43. <https://doi.org/10.23951/2307-6127-2022-1-36-43>

Original article

IMPLEMENTING COGNITIVE TRAINING IN THE PROCESS OF LEARNING MATHEMATICS

Aleksandr Yu. Pigarev

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

Abstract

Lack of working memory leads to a persistent inability to learn mathematics. Additional lessons with a teacher do not solve the problem of lagging behind the program. Correction of working memory or adaptation of the curriculum to the characteristics of a given student is required.

Working memory can be trained, however, cognitive improvement does not automatically translate into academic performance due to the deep lag behind these students from the program. It is proposed to train working memory in the context of mathematical knowledge.

The author has created a system of computer trainers for working memory based on the key sections of the school curriculum in mathematics. There are eight trainers: mental counting and skills in working with a trigonometric circle, solving proportions and square inequalities, solving a right-angled triangle. Trainers are available free of charge on the website <https://www.workingmemory.ru/> (registration is required).

Embedding cognitive training in educational content removes the problem of far transfer, since the positive effect on academic performance is immediately apparent. The problem of motivation for training working memory also disappears, since the content basis of the trainers is the requirements of the school curriculum.

The time limit for one exercise, the number and duration of exercise to reach the limit values vary widely. This confirms the significant individual differences in working memory.

The hypothesis was confirmed that the strategy of using resources of working memory is improved as a result of training (not the volume of its short-term storage). The conclusion is made on the analysis of statistical data on working with the “Forest Marathon” trainer, in which it is required to hold and transform in the mind from one to five numbers.

Keywords: *teaching mathematics, working memory, computer trainer, interval repetition*

For citation: Pigarev A. Yu. Implementing cognitive training in the process of learning mathematics [Vnedreniye kognitivnoy trenirovki v protsess obucheniya matematike]. *Nauchno-pedagogicheskoye obozreniye – Pedagogical Review*, 2022, vol. 1 (61), pp. 36–35. <https://doi.org/10.23951/2307-6127-2022-1-36-43>

Объективные трудности с математикой испытывают 6 % учащихся, 40 % из них (2,4 % от всей популяции) испытывают устойчивые трудности в усвоении математики, которые невозможно преодолеть дополнительными занятиями с учителем [1, с. 296].

Проблемы в усвоении математики у таких школьников связаны не с низкой мотивацией или недостатками организации учебного процесса. Проблемы порождены генеральными факторами (domain-general factors), среди которых выделяют два главных: подвижный интеллект (fluid intelligence) и рабочую память (working memory) [1]. Решить проблему академической неуспеваемости дополнительными занятиями по математике невозможно. Необходимо включить упражнения на развитие генеральных факторов или адаптировать методики обучения к особенностям когнитивного развития таких учащихся.

Подвижный интеллект, по определению, – это способность воспринимать новую информацию, решать новые, ранее не встречавшиеся задачи. По факту подвижный интеллект есть количество баллов, набранных при решении матричных IQ-тестов. Корреляция высокая: 0,77 между результатами матричного IQ-теста и достижениями в математике спустя пять лет [2].

Рабочая память – это способность удерживать и преобразовывать информацию в процессе решения когнитивных задач. Она является ключевым компонентом подвижного интеллекта, определяет понимание текстовой информации и отвечает за решение задач. Согласно трехкомпонентной модели Алана Бэддели [3], рабочая память включает два кратковременных хранилища зрительной и фонологической информации: зрительно-пространственный блокнот и артикуляционную (фонологическую) петлю. Центральный администратор отвечает за преобразование информации в этих кратковременных хранилищах (рис. 1).

Рабочая память обеспечивает как консолидацию долговременной памяти, так и процесс извлечения информации из долговременной памяти. Именно в рабочей памяти происходит мышление, в том числе ментальное моделирование и решение задач [3].

Высокая корреляция параметров рабочей памяти и результатов академической успеваемости по математическим дисциплинам подтверждена экспериментально: «...memory skills uniquely predicted mathematical skills and arithmetical abilities» [4, с. 136].

Рабочая память как целостная система определяет академическую успеваемость по математике. Центральный администратор отвечает за мониторинг и координацию различных шагов решения вычислительной или логической задачи.

В артикуляционной петле удерживаются результаты промежуточных вычислений или умозаключений.

В зрительно-пространственном блокноте происходят арифметические операции на ментальной числовой оси, преобразования векторов и геометрических построений [4]. Недостаток рабочей памяти приводит к объективным трудностям в усвоении математики.

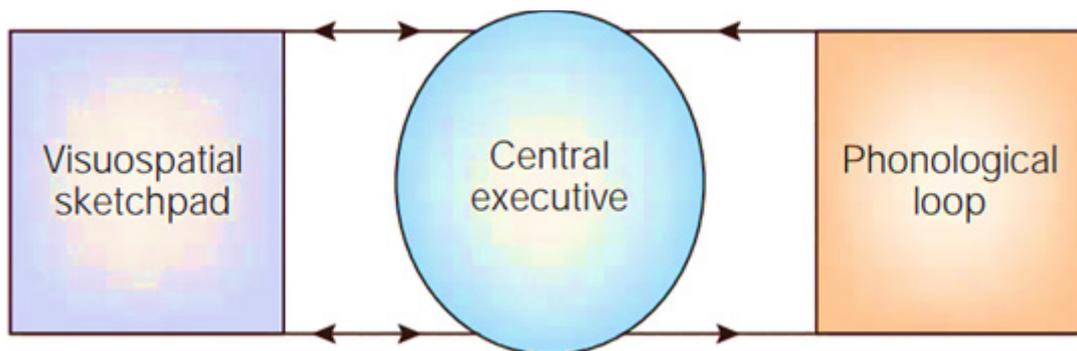


Рис. 1. Трехкомпонентная модель рабочей памяти Алана Бэддели [3]

Рабочая память может быть улучшена с помощью специальных тренажеров. Таких тренажеров разработано в мире великое множество, поскольку они пользуются, особенно в западных странах, большой популярностью. Идея тренировки рабочей памяти возникла на основе концепции пластичности когнитивной системы человека на протяжении всей его жизни. Внедрение этих тренажеров было по началу многообещающим. После двухнедельной тренировки наблюдался эффект переноса на решение тестов подвижного интеллекта [5].

Однако, несмотря на улучшение когнитивных функций, трансфер на академическую успеваемость оказался ограничен, возможно по причине глубокого отставания от учебной программы проблемных учеников, крайне низкого исходного уровня овладения знаниями и умениями, что делает такой быстрый трансфер невозможным принципиально [6].

Ожидать, что тренировка когнитивного процесса приведет к немедленному улучшению академической успеваемости у слабых учеников нереально, потому что у них нет фундаментальных академических навыков, например не имеют концептуальных представлений об умножении и нет навыков устного счета.

Чтобы оценить эффект улучшения когнитивных процессов на академическую успеваемость, нужны лонгитюдные исследования на протяжении хотя бы пяти лет и при наличии экспериментальной и контрольной групп. Корреляция между результатами матричного IQ-теста и достижениями в математике наблюдается спустя пять лет [2]. То есть подвижный интеллект приводит к формированию кристаллического через годы учебы. Но подобного эксперимента никто не проводил и вряд ли возможно обеспечить его чистоту, поддерживая особые условия когнитивной активности для контрольной и экспериментальной групп.

Решение проблемы – проводить тренировку рабочей памяти в контексте математических знаний. То есть включить когнитивные тренировки внутрь упражнений по развитию математических умений и навыков. Усиление когнитивных функций происходит параллельно с улучшением математических умений и навыков: улучшение одного усиливает улучшение другого.

Положительный пример такого подхода: тренировка работы с дробями школьников младших классов, испытывающих трудности с усвоением математики [7].

Причем тренировки на скорость вычислений, т. е. тренировки, в которых существенная нагрузка приходится на рабочую память, приводят к значительно более заметному улучшению академической успеваемости у школьников с относительно слабой рабочей памятью: «...for students with more adequate WM, effects favored the fluency condition» [7, с. 509].

С одной стороны, такой положительный эффект можно объяснить улучшением функций рабочей памяти при решении тренировочных задач. С другой стороны, автоматизация базовых вычислительных навыков уменьшает нагрузку на рабочую память – так называемая гипотеза компенсации навыков («fluency practice compensation hypothesis» [7]). Высвободившиеся таким образом ресурсы рабочей памяти позволят лучше сосредоточиться на концептуальных основах математики.

Возникает вопрос: а можно ли данный подход распространить на школьников средних и старших классов? Ведь проблема неуспеваемости по математике, вызванная недостатком рабочей памяти, в этой возрастной группе очень острая, особенно при наличии объективной оценки учебных достижений с помощью ОГЭ и ЕГЭ.

На протяжении последних пяти лет создается и совершенствуется система компьютерных тренажеров рабочей памяти, построенных на основе школьной программы и программы подготовки к ЕГЭ и ОГЭ по математике. В настоящее время создано, апробировано и внедрено в практику восемь таких тренажеров (таблица), доступных на сайте workingmemory.ru.

Компьютерные тренажеры рабочей памяти на сайте workingmemory.ru

| Наименование тренажера | Тренировка рабочей памяти | Класс |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| «Лесной марафон» | В артикуляционной петле удерживаются от одного до пяти чисел, центральный администратор преобразует эти числа | 1–11-й |
| «Устный счет» | Центральный администратор отвечает за мониторинг и координацию различных шагов решения вычислительной задачи. В артикуляционной петле удерживаются результаты промежуточных вычислений. В зрительно-пространственном блокноте происходят арифметические операции на мысленной числовой оси | 2–11-й |
| «Решение пропорций» | | 6–11-й |
| «График квадратичной функции» | | 8–11-й |
| «Квадратное неравенство» | Центральный администратор задает траекторию точки на числовой окружности. В зрительно-пространственном блокноте хранится траектория точки и ее текущее положение, а в артикуляционной петле – число, рассчитываемое по ее положению. Положение точки и соответствующее ему число преобразуются по мере ее движения по окружности | 10–11-й |
| «Тригонометрическая окружность» | | 10–11-й |
| «Формулы приведения» | В зрительно-пространственном блокноте производится анализ рисунка: чем является известная сторона (катет, гипотенуза) и чем является сторона, которую нужно найти? Центральный администратор связывает результаты анализа в тригонометрическое уравнение, а в артикуляционной петле хранятся промежуточные результаты вычислений | 8–11-й |
| «Прямоугольный треугольник» | | 8–11-й |

Результаты работы конкретного ученика с тренажерами сохраняются в базе данных на сервере. Тем самым тренажеры обеспечивают автоматическую обратную связь: учитель, не делая письменной проверочной работы, не встречаясь и не беседуя с учеником, точно знает, сколько занимался ученик, с каким результатом, какова частота ошибок и скорость решения тренировочных упражнений. Есть ли необходимость продолжить выполнять заданные упражнения или уже можно переходить на следующий уровень.

Учитель может просто сделать установку: «Делаешь тренажеры каждый день по 20 минут до тех пор, пока не научишься решать без ошибок со скоростью одно упражнение за 7 секунд». Проконтролировать, добросовестно ли ученик выполнил задание, можно, посмотрев записи в базе данных.

И не забывать про интервальное повторение [8]. У некоторых школьников отличная память на математические факты. Однажды выученная схема решения запоминается надолго, и необходимости специально повторять материал нет. А есть учащиеся, у которых математическая память слабая. Тренажеры позволяют повторять однажды изученный материал через определенные интервалы (обычно от двух недель до двух месяцев) до тех пор, пока он прочно не запомнится.

Встраивание когнитивной тренировки в учебный контент дает два значительных преимущества:

1. Снимает проблему мотивации. Это важно, потому что метакогнитивные (мотивационные) аспекты играют существенную роль как для перехода рабочей памяти в предельный режим нагрузки, так и, соответственно, для тренировки рабочей памяти, поскольку тренировка рабочей памяти

возможна только при максимальной ее нагрузке: «...task difficulty should be dynamically adapted to each individual's performance level to keep up the mismatch of supply and demand» [9].

2. Снимает проблему «дальнего переноса» [10], поскольку есть «ближний перенос», который дает мгновенный положительный эффект, заключающийся в том, что школьник сразу после тренировок начинает лучше решать соответствующие задачи из школьного курса. Снижается частота ошибок, повышается уровень сложности доступных для решения задач.

Тренажеры прошли апробацию и применяются на курсах подготовки к ОГЭ и ЕГЭ. Результат каждого упражнения, выполненного учащимся, сохраняется в базе данных в виде отдельной записи. Полученные таким образом предельные значения показателей работы с тренажерами на основе обучения 31 учащегося 10–11-х классов представлены на рис. 2.

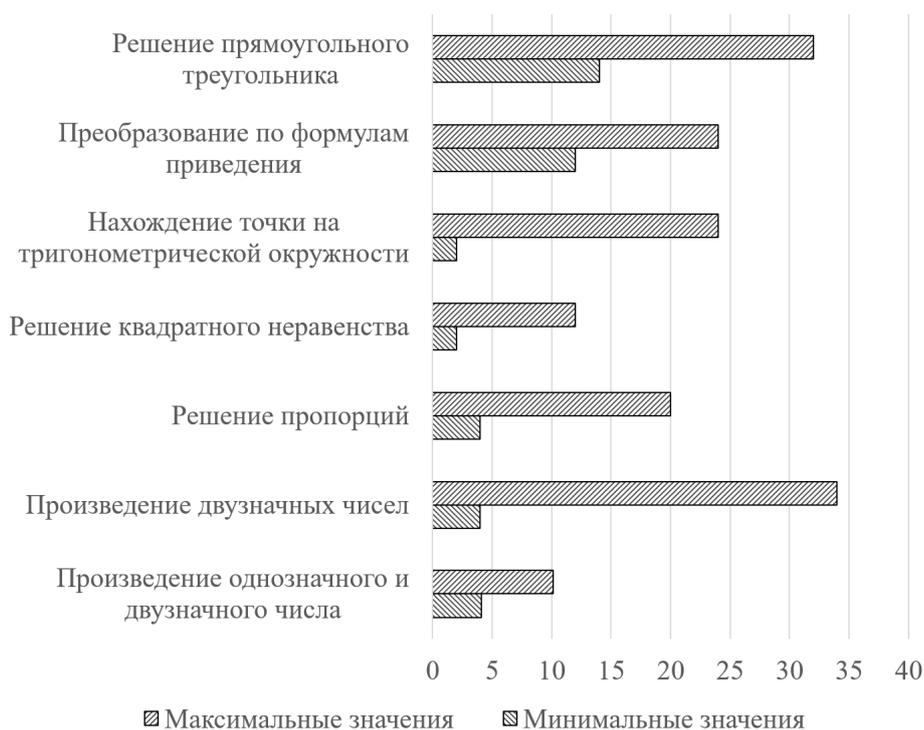


Рис. 2. Предельное время в секундах на выполнение одного упражнения при работе с тренажерами workingmemory.ru

При длительной работе с тренажерами наблюдается эффект достижения предельных значений, после достижения которых дальнейшие тренировки не позволяют достичь более высоких результатов. Причем эти предельные значения варьируются в широких пределах, как показано на рис. 2. Время достижения предельных значений и общее количество выполненных упражнений для достижения предельных значений у всех разное: кто-то через 20 минут показывает отличные результаты, а кто-то только через три месяца ежедневных тренировок достигает предела и, несмотря на длительность тренировок, отстает в два-три раза от средних значений.

Высокая скорость выполнения упражнения говорит о том, что вычислительные процессы протекают преимущественно с использованием быстрых хранилищ рабочей памяти, без обращения к памяти долговременной. Низкая скорость свидетельствует о постоянном обращении к ресурсам долговременной памяти из-за недостатка или нестабильности хранилищ рабочей памяти.

С одной стороны, это подтверждает факт значительной дифференциации параметров рабочей памяти у разных людей. С другой стороны, наличие «индивидуальных пределов» позволяет утверждать, что тренировка рабочей памяти приводит скорее к улучшению стратегии использования ее ресурсов при решении когнитивных задач, чем к увеличению объема ее кратковременных храни-

лиц. Этот вывод согласуется с гипотезой в работе [10]: «...near transfer can occur for a variety of reasons other than improvements in working memory capacity». Предположение о том, что в результате тренировок улучшается именно стратегия использования ресурсов рабочей памяти, а не объем, впервые было высказано в работе [11]: «...we express concern that many of the most promising results (e.g., increased intelligence) cannot be readily attributed to changes in WM capacity».

Например, тренажер «Лесной марафон» (рис. 3) был создан самым первым в формате flash еще в 2007 г., затем перепрограммирован в html5. До пяти видов зверей «бегают» из левого леса в правый и обратно. Необходимо удерживать в уме количество зверей каждого вида, оставшихся в правом лесу. Настраивается число зверей и частота их появления.

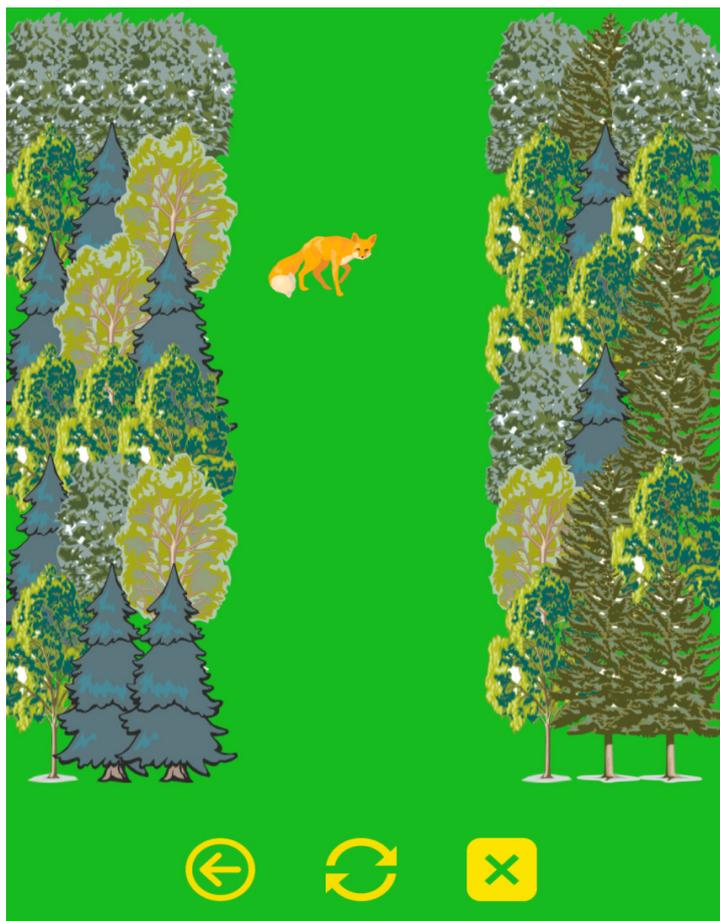


Рис. 3. Скрин тренажера рабочей памяти «Лесной марафон»

Анализ базы данных, включающей записи более сотни пользователей, позволяет сделать однозначный вывод, что большинство учащихся после тренировок могут удерживать в уме три числа. И сколько бы ни тренировались, больше трех не получается. Но встречаются школьники (порядка 5 %), которые способны удерживать в уме и пять чисел после аналогичных тренировок. Вероятно, у них объем артикуляционной петли больше среднего. А те, у кого объем фонологического хранилища средний, с помощью тренировок увеличить его не могут.

Использование компьютерных тренажеров повышает ответственность учащихся за конечный результат своего обучения, когда оценка ставится не за количество переписанных упражнений или проведенного у экрана времени, а за развитие конкретных навыков.

Таким образом, внедрение когнитивной тренировки в процесс обучения математике позволяет учителю обеспечить каждому ученику поступательное развитие согласно его индивидуальным особенностям: объему рабочей памяти и прочности долговременной математической памяти.

Список литературы

1. Lynn S. Fuchs, Douglas Fuchs, Amelia S. Malone, Pamela M. Seethaler, Caitlin Craddock, Chapter 12 – The Role of Cognitive Processes in Treating Mathematics Learning Difficulties // *Mathematical Cognition and Learning, Cognitive Foundations for Improving Mathematical Learning*. 2019. Vol. 5. P. 295–320.
2. Deary I. J., Strand S., Smith P., Fernandes C. Intelligence and educational achievement // *Intelligence*. 2007. № 35. P. 13–21.
3. Baddeley A. Working memory: Looking back and looking forward // *Nature Reviews*. 2003. Vol. 4. P. 829–839. DOI: 10.1038/nrn1201
4. 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
5. Jaeggi S. M., Buschkuhl M., Jonides J., Perrig W. J. Improving fluid intelligence with training on working memory // *PNAS*. 2008. Vol. 105, № 19. P. 6829–6833. DOI: 10.1073/pnas.0801268105
6. Kearns D. M., Fuchs D. Does cognitive-focused instruction improve the academic performance on low-achieving children? // *Exceptional Children*. 2013. № 79. P. 263–290.
7. Fuchs L. S., Schumacher R. F., Sterba S. K., Long J., Namkung J., Malone A., Hamlett C. L., Jordan N. C., Gersten R., Siegler R. S., Changas P. Does working memory moderate the effects of fraction intervention? An aptitude–treatment interaction // *Journal of Educational Psychology*. 2014. № 106 (2). P. 499–514.
8. 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.
9. Shing Y. L., Schmiedek F., Lövdén M., Lindenberger U. Training Working Memory for 100 Days The COGITO Study // *Cognitive and working memory training: Perspectives from psychology, neuroscience, and human development* / eds. by J. M. Novick, M. F. Bunting, M. R. Dougherty, R. W. Engle. Oxford University Press, 2019. P. 40–57.
10. Hicks K., Engle R. W. Cognitive Perspectives of Working Memory Training Current Challenges in Working Memory Training // *Cognitive and working memory training: Perspectives from psychology, neuroscience, and human development* / eds. by J. M. Novick, M. F. Bunting, M. R. Dougherty, R. W. Engle. Oxford University Press, 2019. P. 3–13.
11. 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

References

1. Lynn S. Fuchs, Douglas Fuchs, Amelia S. Malone, Pamela M. Seethaler, Caitlin Craddock, Chapter 12 – The Role of Cognitive Processes in Treating Mathematics Learning Difficulties. *Mathematical Cognition and Learning, Cognitive Foundations for Improving Mathematical Learning*, 2019, vol. 5, pp. 295–320.
2. Deary I. J., Strand S., Smith P., Fernandes C. Intelligence and educational achievement. *Intelligence*, 2007, no. 35, pp. 13–21.
3. Baddeley A. Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews*, 2003, vol. 4, pp. 829–839. DOI: 10.1038/nrn1201
4. 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
5. Jaeggi S. M., Buschkuhl M., Jonides J., Perrig W. J. Improving fluid intelligence with training on working memory. *PNAS*, 2008, vol. 105, no. 19, pp. 6829–6833. DOI: 10.1073/pnas.0801268105
6. Kearns D. M., Fuchs D. Does cognitive-focused instruction improve the academic performance on low-achieving children? *Exceptional Children*, 2013, no. 79, pp. 263–290.
7. Fuchs L. S., Schumacher R. F., Sterba S. K., Long J., Namkung J., Malone A., Hamlett C. L., Jordan N. C., Gersten R., Siegler R. S., Changas P. Does working memory moderate the effects of fraction intervention? An aptitude-treatment interaction. *Journal of Educational Psychology*, 2014, no. 106 (2), pp. 499–514.
8. Pashler H., Rohrer D., Cepeda N.J., Carpenter S.K. Enhancing learning and retarding forgetting: Choices and consequences. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2007, no. 14 (2), pp. 187–193.
9. Shing Y. L., Schmiedek F., Lövdén M., Lindenberger U. Training Working Memory for 100 Days The COGITO Study. In: J. M. Novick, M. F. Bunting, M. R. Dougherty, & R. W. Engle (Eds.). *Cognitive and working memory training: Perspectives from psychology, neuroscience, and human development*. Oxford University Press, 2019. Pp. 40–57.

10. Hicks K., Engle R. W. Cognitive Perspectives of Working Memory Training Current Challenges in Working Memory Training. In: J. M. Novick, M. F. Bunting, M. R. Dougherty, R. W. Engle (Eds.). *Cognitive and working memory training: Perspectives from psychology, neuroscience, and human development*. Oxford University Press, 2019. Pp. 3–13.
11. 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

Информация об авторах

А. Ю. Пигарев, кандидат педагогических наук, доцент, Новосибирский государственный университет экономики и управления (ул. Каменская, 56, Новосибирск, Россия, 630099).

Information about the authors

A. Yu. Pigarev, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Novosibirsk State University of Economics and Management (ul. Kamenskaya, 56, Novosibirsk, Russian Federation, 630099).

Статья поступила в редакцию 27.10.2021; принята к публикации 27.12.2021.

The article was submitted 27.10.2021; accepted for publication 27.12.2021