

Научная статья
УДК 373.5; 37.02; 53; 004
<https://doi.org/10.23951/2307-6127-2025-3-84-92>

Развитие вычислительных навыков с помощью компьютерных тренажеров по физике

Александр Юрьевич Пигарев

Новосибирский государственный университет экономики и управления, Новосибирск, Россия, physflash@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-2275-4114>

Аннотация

Работа посвящена проблеме развития вычислительных навыков, необходимых для решения расчетных задач по физике. Обозначен источник проблемы, приводящий к недостаточному развитию вычислительных навыков у учащихся. Представлены результаты апробации созданных автором компьютерных тренажеров. Тренажер «Формулы по физике» развивает навык нахождения неизвестных физических величин, тренажер «Округление чисел» развивает навык округления полученного результата до требуемого разряда. Проблема вычислительных ошибок сохраняется при решении уравнений в три и более действия приблизительно у 10 % учащихся, при этом вероятность ошибок снижается до 10 %.

Ключевые слова: вычислительные навыки, решение задач по физике, компьютерный тренажер, рабочая память

Для цитирования: Пигарев А.Ю. Развитие вычислительных навыков с помощью компьютерных тренажеров по физике // Научно-педагогическое обозрение. Pedagogical Review. 2025. Вып. 3 (61). С. 84–92. <https://doi.org/10.23951/2307-6127-2025-3-84-92>

Original article

Development of computational skills using computer trainers in physics

Aleksandr Yu. Pigarev

Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, Russian Federation, physflash@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-2275-4114>

Abstract

The paper is devoted to the problem of developing computational skills necessary for solving computational problems in physics. The problem is especially relevant for participants in the state final certification in physics, balancing on the verge of the minimum score. The source of the problem leading to insufficient development of computational skills in students is identified: starting from the 7th grade, little attention is paid to computational work. The results of testing computer simulators created by the author are presented. The testing took place on students of preparatory courses for the state certification in physics. The simulator “Formulas in Physics” develops the skill of finding unknown physical quantities. Its substantive basis is physics formulas that must be remembered for successful passing of the state final certification. 92 such formulas were selected. There are formulas for the solution of which one action is required. For example, Newton’s Second Law. There are formulas for the solution of which three or more actions are required. For example, the formula of a thin lens. The student sequentially finds each physical quantity included in the formula, based on the known others. In case of an error, it is recommended to repeat the exercise. The problem of computational errors remains when solving equations in three or more steps for students with insufficient working memory, while the probability of errors decreases to 10 %. There are about 6–13 % of such students. The “Rounding Numbers” trainer develops the skill of rounding the obtained result to the required digit. During testing, the trainer was changed: a reminder of the rounding rules was added for each error, which increased its effectiveness: students began to master this computational skill faster.

Keywords: *computational skills, solving physics problems, computer trainers, working memory*

For citation: Pigarev A.Yu. Development of computational skills using computer trainers in physics [Razvitiye vychislitel'nykh navykov s pomoshchyu komp'yuternykh trenazherov po fizike]. *Nauchno-pedagogicheskoye obozreniye – Pedagogical Review*, 2025, vol. 3 (61), pp. 84–92. <https://doi.org/10.23951/2307-6127-2025-3-84-92>

Решение количественных задач – необходимый элемент овладения физикой как источником объективных знаний о материальном мире. Осмысление теоретического материала, его запоминание и систематизация происходят в процессе решения задач. Количественные задачи составляют содержательную основу государственной итоговой аттестации (ОГЭ и ЕГЭ) по физике: умение производить необходимые вычисления относится к проверяемым по результатам государственной итоговой аттестации «предметным умениям» [1].

В качестве одной из ключевых причин затруднений при изучении физики отмечается «слабая сформированность элементарных математических представлений (чувства числа, пространственных представлений, навыков счета и т. п.)» [2, с. 2].

Конкретно это может проявляться в неумении выразить неизвестную величину из физической формулы (линейной, рациональной, иррациональной), в неспособности оценить порядок искомой величины, а конечный расчет может быть затруднен неумением пользоваться инженерным калькулятором, использовать все его возможности, неумением правильно округлить число до требуемого разряда.

Данная работа посвящена проблеме преодоления трудностей с выражением неизвестной величины из формулы, ее расчетом на инженерном калькуляторе и округлением участниками ОГЭ и ЕГЭ по физике, балансирующими на грани преодоления минимального балла. Согласно статистическому распределению результатов участников ЕГЭ по физике по первичным баллам [3, с. 3], таких учащихся порядка 12 %: примерно 6 % не преодолели минимальный балл и примерно 6 % набрали минимальный или на два больше (на одну задачу).

Анализ итогов ЕГЭ по физике показал, что участниками этой группы «более успешно выполняются задания на знание формул, в которых используется прямая пропорциональность между двумя величинами» [2, с. 3]; «менее успешно выполняются задания на закон всемирного тяготения и закон Кулона с использованием минимальных расчетов» [2, с. 5]. То есть, как только задание выходит за рамки простой линейной зависимости, возникают трудности с математической составляющей задания: «проблема возникает именно с расчетами» [2, с. 5].

В наукометрических базах данных, как отечественных (РИНЦ, elibrary), так и международных (Scopus, Академия Google), был осуществлен поиск работ, в которых бы исследовались специфические трудности, с которыми сталкиваются учащиеся при изучении физики. Отечественных исследований, к сожалению, обнаружить не удалось. И в международных базах таких исследований оказалось немного. И среди этих немногих еще меньше работ, к которым есть открытый доступ. Такой работой оказалась статья индийских исследователей из Theresa International College (Международный колледж Терезы) [4]. Для количественной оценки причин, вызывающих трудности с освоением физики, были анкетированы 303 студента-бакалавра педагогических наук по специальности «физика». Выделены две главные причины трудностей с овладением физикой, по мнению студентов: 1) трудности с запоминанием формул 57,4 %; 2) недостаток математических навыков 45,8 %.

Практически все участники курсов подготовки к ОГЭ и ЕГЭ по физике, балансирующие на грани минимального балла, также отмечают в качестве основных проблем трудности с запоминанием формул и алгебраическими преобразованиями при решении уравнений на их основе.

Есть организационные аспекты решения задач по физике на стороне ученика: 1) внимательно прочитать условие; 2) записать то, что дано; 3) записать законы физики и составить уравнение. Там могут быть варианты. А есть когнитивные аспекты решения задач по физике:

1. Построение ментальной модели по условию задачи на основе законов физики.
2. Построение математической модели в виде уравнений на основе ментальной модели.
3. Решение уравнения или системы уравнений, расчет и округление результата.

Вспомнить формулы – это начальный этап решения задачи. Решить уравнение, правильно рассчитать неизвестную и округлить – заключительный. Между этими этапами самое интересное –

эвристический поиск решения [5] на основе адекватной ментальной модели [6]. Эвристический поиск в решении простейших задач минимален. Необходимость построения ментальной модели есть только в задачах на динамику, где нужно учитывать направление сил. Преодолеть минимальный порог можно, решая самые простые задачи, в которых нужно 1) вспомнить формулу, 2) выразить и рассчитать неизвестную величину и правильно округлить результат.

Возникает задача разработать методику для развития умения решать простейшие задачи, поскольку проблема трудностей с вычислениями актуальна для достаточно большого числа учащихся. С этой целью разработаны два компьютерных тренажера: «Формулы по физике» и «Округление чисел» [7].

Тренажер «Формулы по физике» направлен на развитие умения выражать неизвестную физическую величину из формулы и умения пользоваться инженерным калькулятором для расчета неизвестной величины.

Содержательной основой компьютерного тренажера являются формулы из школьного курса физики, а не абстрактные математические выражения, для того чтобы, помимо развития математических навыков, учащиеся запомнили сами формулы, поскольку на государственных экзаменах справочные материалы их не содержат. Формулы по физике необходимо запомнить.

Формулы были отобраны как на основе решения заданий тренировочных вариантов ОГЭ и ЕГЭ, так и официального кодификатора [8]. Формулы, необходимые для сдачи ОГЭ, являются частью формул, необходимых для сдачи ЕГЭ.

Тренажер включает 92 формулы. Тренировка по каждой формуле отдельно. Одно упражнение включает цикл нахождения каждой физической величины, входящей в формулу, по заданным другим. При его выполнении необходимо выразить из формулы неизвестную физическую величину и произвести расчет на калькуляторе. Если случилась ошибка, рекомендуется повторять упражнение, пока не получится рассчитать по очереди все физические величины, входящие в формулу, без ошибок.

Пример упражнения на формулу тонкой линзы, выполняемого на смартфоне, показан на рис. 1.

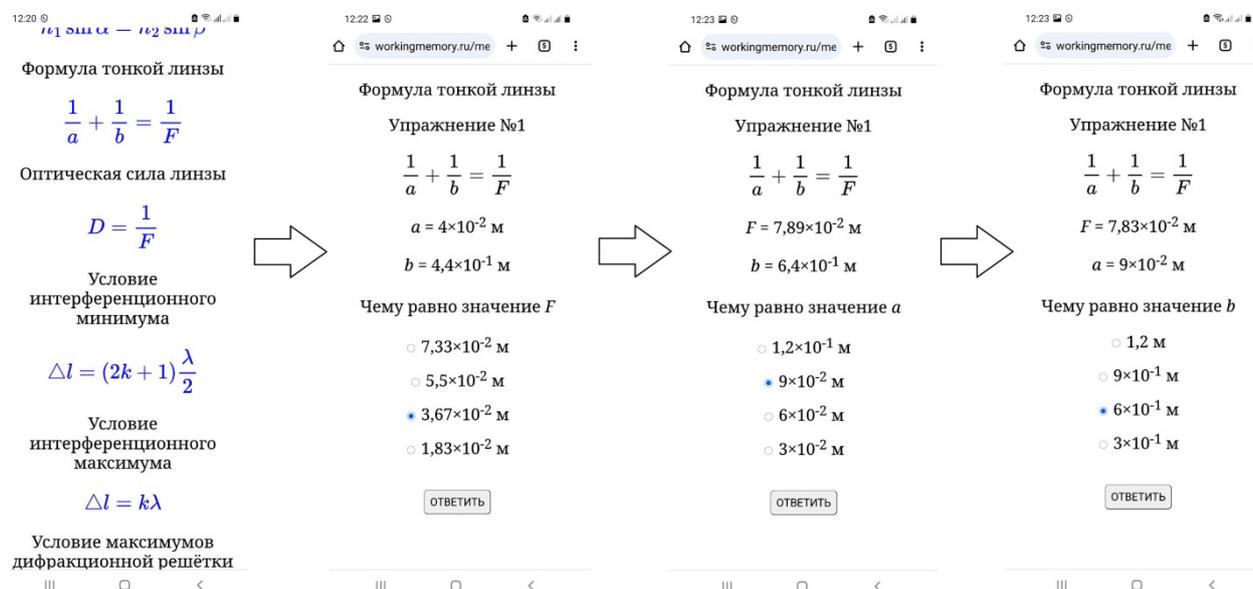


Рис. 1. Скриншоты экрана смартфона при выборе и выполнении упражнения на формулу тонкой линзы

Учащийся по очереди находит каждую величину, входящую в формулу, по известным другим. Известные величины определяются случайным образом в пределах допустимых значений.

Базовые арифметические умения для нахождения неизвестных из формул:

1. **Найти сумму или слагаемое, разность, уменьшаемое или вычитаемое.** Примеры: сопротивление последовательно соединенных резисторов, первое начало термодинамики.

2. **Найти произведение или множитель, частное, делитель или делимое.** Примеры: второй закон Ньютона, плотность вещества.

3. **Извлечь корень, найти подкоренное выражение.** Примеры: период собственных колебаний LC-контура, среднеквадратичная скорость движения молекул.

4. **Решить квадратное уравнение.** Пример: уравнение равноускоренного движения.

5. **Возвести в действительную степень или решить логарифмическое уравнение.** Пример: закон радиоактивного распада

6. **Округлить найденную величину** согласно условиям задачи.

Есть формулы в одно действие. Например, плотность вещества, момент силы. Они не вызывают, как правило, больших трудностей. Здесь полезна бывает известная аналогия с умножением и делением натуральных чисел. Например, даны плотность и масса, необходимо найти объем. Плотность определяется как $\rho = \frac{m}{V}$. Как найти объем? По аналогии: $6 : 2 = 3$, значит, $2 = 6 : 3$.

А есть формулы, чтобы найти неизвестную из которых, необходимо два, три или четыре действия. Например, закон Кулона, теорема о кинетической энергии и др. И здесь возникают проблемы: какое действие должно быть первым, какое вторым и третьим.

Преодолеть эти проблемы можно, решив одно или два задания совместно с учеником, подсказывая ему необходимые действия, чтобы он усвоил алгоритм решения, который может быть воспроизведен уже самостоятельно на аналогичных заданиях.

Например, если нужно найти расстояние от линзы до предмета из формулы тонкой линзы:

$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$. Подсказываем ученику шаги решения: 1) отнимаем от левой и правой части $\frac{1}{2}$;

2) приводим справа к общему знаменателю; 3) заменяем левую и правую часть обратными величинами (меняем числитель и знаменатель местами). Следующее упражнение ученик должен делать самостоятельно, без подсказок. Не получится – подсказываем, а следующее упражнение ученик вновь пытается решить самостоятельно. При необходимости повторяем цикл. Отработка навыка решения подобных задач на компьютерном тренажере не требует присутствия учителя. Учитель через записи базы данных увидит, сколько и с каким результатом занимался каждый ученик.

Чтобы школьник овладел инженерным калькулятором как инструментом для сдачи ОГЭ и ЕГЭ, недостаточно одной инструкции. Необходим практикум по работе с калькулятором. Приемы работы с калькулятором на большом количестве примеров из открытых сегментов контрольных измерительных материалов подробно рассматриваются в работе [9]. На практике для получения минимальных баллов достаточно, чтобы учащийся умел представлять на калькуляторе числа в стандартном виде и с плавающей точкой, использовать скобки. Лучшим решением для участников, балансирующих на грани минимального балла, будет калькулятор с интуитивно понятным интерфейсом и минимальным набором настроек.

Трудности с округление чисел до заданного разряда преодолеваются с помощью тренажера «Округление чисел» (рис. 2). В ходе апробации выяснилось, что ученики: 1) не помнят правило округления; 2) путают разряды (десятые с сотыми и тысячными, десятки с единицами). Положение разрядов достаточно напомнить один раз, и далее учащиеся их уже не путают. А вот правило часто забывают. Поэтому алгоритм был доработан: в случае ошибки компьютер напоминает ученику каждый раз правило округления. Это ускорило и упрочило овладение навыка округления действительных чисел учащимися.

Знание физики, как и любой другой научной дисциплины, – это система взаимодействующих элементов (knowledge in pieces) [10, с. 15–16].

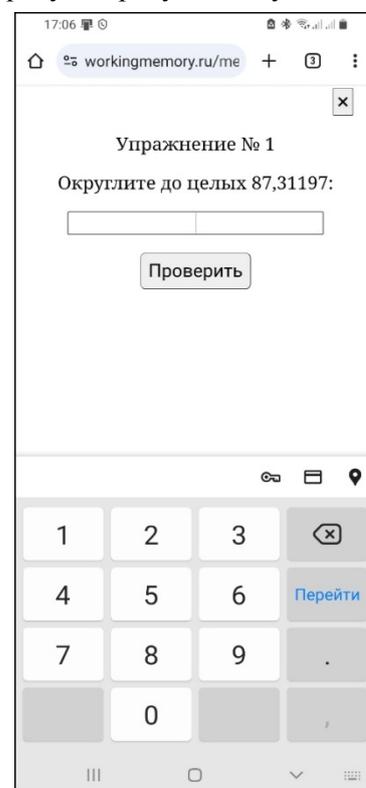


Рис. 2. Скрин экрана смартфона при выполнении упражнения по округлению чисел

Изучение физики – это переход от знания отдельных фрагментов к системе. Одним из элементов этой системы является навык решения алгебраических уравнений на основе формул физики, память самих формул и умение правильно округлять физические величины. Этот навык – ключевой элемент системы знания физики. Если он не работает, не работает вся система. В идеале вычислительные навыки должны закладываться курсом алгебры. Однако педагогическая реальность показывает, что это не всегда работает.

Стандартный школьный курс по математике может не приводить к развитию вычислительных навыков на достаточном уровне для сдачи ОГЭ и ЕГЭ даже по математике. Возникает необходимость в дополнительных занятиях, помимо предусмотренных школьной программой.

Проблема арифметических ошибок актуальна не только при государственной аттестации по физике, но и по математике: «...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» [11, с. 63].

Источник проблемы, по мнению авторов [12, 13], в том, что, начиная с 7-го класса, недостаточно внимания уделяется вычислительной работе. Представленная в работах [12, 13] методика по «формированию навыков оперирования числами и выражениями на основе определений, правил и свойств» [12, с. 5] достаточно эффективна и позволяет решить проблему коррекции математических навыков у старшеклассников.

Однако данная методика предполагает ручную проверку результатов работы учеников, что накладывает на учителя значительную дополнительную нагрузку.

Развитию необходимых вычислительных навыков по математике служат ранее созданные автором другие тренажеры, представленные на сайте [7], направленные на развитие вычислительных навыков для решения не только алгебраических, но и тригонометрических и геометрических задач. Тренировка учеников происходит без дополнительной нагрузки на учителя, но учитель через записи в базе данных может отслеживать и корректировать самостоятельную работу учеников.

Особенности авторских компьютерных тренажеров:

1. Запускаются на всех типах устройств (ПК, планшеты, смартфоны) под управлением любых операционных систем. Не требуют установки, достаточно регистрации по электронной почте.

2. Генерируют неограниченное количество практически неповторяющихся заданий. Для преодоления трудностей с развитием вычислительных навыков у некоторых учащихся недостаточно стандартного количества упражнений, содержащихся в учебниках или задачниках: «...неспособных учеников нужно длительно тренировать, упражнять на специально подобранном материале, охватывающем все возможные случаи и комбинации несущественных признаков, чтобы им стала доступной более или менее элементарная степень обобщения» [14, с. 258–259].

3. Сохраняют на сервере результаты выполнения упражнений (время, количество и частота ошибок), что позволяет учителю индивидуально корректировать при необходимости программу подготовки: хорошо успевающих переводить на новый уровень, а испытывающим трудности давать дополнительные задания.

Апробирована данная методика на курсах подготовки к ОГЭ и ЕГЭ по физике в течение трех лет. Число слушателей курсов 59. Это учащиеся с девятого по одиннадцатый класс. Занятия проходили онлайн.

Компьютерные тренажеры выступали в роли помощника учителя. С одной стороны, тренажеры имитируют работу учителя: дают задание ученику, проверяют правильность, заполняют «журнал» (записи в базу данных). С другой стороны, компьютер способен на нечто большее: генерация неограниченного количества неповторяющихся упражнений индивидуально для каждого ученика. Учитель так не может. Учитель руководит работой ученика с компьютером: дает задание, какие упражнения в каком количестве выполнить. Например, отработать упражнения на формулу тонкой линзы, чтобы получалось быстро и без ошибок.

Критический параметр для успешной сдачи государственной итоговой аттестации – это частота или вероятность вычислительных ошибок.

В решении уравнений в одно действие достичь практически безошибочного решения уравнений получается у всех учащихся. А вот если уравнение в три или четыре действия, то примерно

10 % учащихся, несмотря на продолжительные тренировки (более недели), не могут решать эти уравнения без ошибок. Вероятность ошибки сохраняется на уровне 10 % (рис. 3). Причина – недостаток рабочей памяти, которая является главным фактором алгебраических способностей: «...working memory significantly predicted the students’ algebraic thinking abilities in all grades («...рабочая память предопределяет способности учащихся к алгебраическому мышлению во всех классах») [15]. Механизм возникновения алгебраической ошибки при недостатке рабочей памяти описывается так: Without sufficient working memory, the information would be lost before it could be combined into a coherent, complete thought («Без достаточной рабочей памяти информация будет утеряна прежде, чем ее удастся объединить в связную, законченную мысль») [15].

Устойчивые объективные трудности с математическими дисциплинами, вызванные дефицитом рабочей памяти, наблюдаются примерно у 6–13 % обучающихся [16]. Вероятно, неслучайно данный показатель совпадает с показателем участников государственной итоговой аттестации по физике, балансирующих на грани минимального балла [3, с. 3]. Таким ученикам рекомендуется внимательно перепроверять результаты расчета на экзамене.

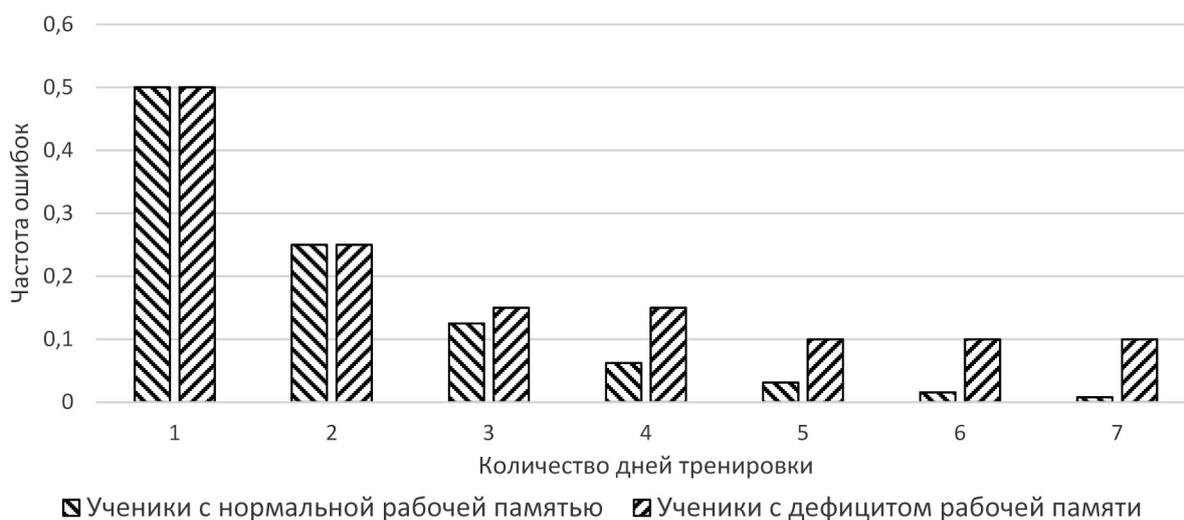


Рис. 3. Динамика частоты вычислительных ошибок у учеников с нормальной и ограниченной рабочей памятью

Таким образом, компьютерные тренажеры позволяют быстро и с минимальным участием учителя развить вычислительные навыки, необходимые для качественной подготовки учеников к государственной итоговой аттестации по физике. Формат онлайн-занятий способствует повышению мотивации и самооффективности школьников к изучению физики [17]. Однако исключить вероятность вычислительных ошибок не всегда представляется возможным.

Использование данных тренажеров другими учителями возможно в любой точке мира, поскольку они являются бесплатными и общедоступными. Главное – желание самого учителя совершенствовать методику преподавания с помощью информационных технологий, на личном опыте удостоверяться в эффективности (или неэффективности) того или иного подхода [18].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Грумова А.Г., Добротин Д.Ю. Задания по предметам естественно-научного цикла как средство оценивания сформированности познавательных универсальных действий в основной школе // Педагогические измерения. 2024. № 2. С. 73–78.
2. Демидова М.Ю. Методические рекомендации для учителей по преподаванию учебных предметов в образовательных организациях с высокой долей обучающихся с рисками учебной неуспешности. Физика. М., 2020. URL: <http://doc.fipi.ru/metodicheskaya-kopilka/metod-rekomendatsii-dlya-slabykh-shkol/fizika-mr-oo.pdf> (дата обращения: 5.11.2024).
3. Грибов В.А., Демидова М.Ю. Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2023 года по физике. М., 2023. URL:

- https://doc.fipi.ru/ege/analiticheskie-i-metodicheskie-materialy/2023/fi_mr_2023.pdf (дата обращения: 5.11.2024).
4. Reddy M.V.B., Panacharoensawad B. Students Problem-Solving Difficulties and Implications in Physics: An Empirical Study on Influencing Factors // *Journal of Education and Practice*. 2017. Vol. 8, № 14. 2017. P. 59–62.
 5. Пойа Д. Как решать задачу. Кирс: Советские учебники, 2023. 208 с.
 6. Johnson-Laird, Phil. *How we Reason*. Oxford University Press, 2008. 573 p.
 7. Онлайн-подготовка по математике и физике. URL: <https://www.workingmemory.ru/> (дата обращения: 05.11.2024).
 8. Кодификатор КИМ ЕГЭ 2024 г. по физике. URL: https://doc.fipi.ru/ege/demoversii-specifikacii-kodifikatory/2024/fi_11_2024.zip (дата обращения 5.11.2024).
 9. Вострокнутов И.Е., Никифоров Г.Г., Пальцев А.И., Розанов Д.С., Соболев В.В. Повышение эффективности учебного процесса и результатов ЕГЭ по физике с использованием научных калькуляторов CASIO. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Onebook.ru, 2017. 83 с.
 10. Mestre J.P., Docktor J.L. *The Science of Learning Physics. Cognitive Strategies for Improving Instruction*. Non-Series Books, 2020. doi:10.1142/11998
 11. 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.
 12. Хлевнюк Н.Н., Иванова М.В, Иващенко В.Г., Мелкова Н.С. Формирование вычислительных навыков на уроках математики. 5–9 классы. 2-е изд., доп. М.: Илекса, 2022. 296 с.
 13. Хлевнюк Н.Н., Иванова М.В. Формирование вычислительных навыков на уроках математики. 10–11 классы. М.: ИЛЕКСА, 2021. 263 с.
 14. Крутецкий В.А. Психология математических способностей школьников / под ред. Н.И. Чуприковой. М.: Институт практической психологии; Воронеж: МОДЭК, 1998. 416 с.
 15. Chimoni M., Pitta-Pantazi D., Christou C. The association of algebraic thinking with working memory, control of processing, and speed of processing // *Thirteenth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME13)*, Alfréd Rényi Institute of Mathematics; Eötvös Loránd University of Budapest, Jul 2023, Budapest, Hungary. P. 520–527. URL: <https://hal.umontpellier.fr/hal-04430809v1/document> (дата обращения 05.11.2024).
 16. Barbaresi W.J., Katusic S.K., Colligan R.C., Weaver A.L., Jacobsen S.J. Math Learning Disorder: Incidence in a Population-Based Birth Cohort, 1976–82, Rochester, Minn // *Ambulatory Pediatrics*. Vol. 5, Iss. 5. 2005. P. 281–289. doi: 10.1367/A04-209R.1
 17. Керша Ю.Д., Обухов А.С. Экспериментальное исследование роли онлайн-кружков в повышении мотивации и самоэффективности учащихся в естествознании // *Интеграция образования*. 2023. Т. 27, № 2 (111). С. 208–226. doi: 10.15507/1991-9468.111.027.202302.208-226
 18. Михайлова А.М. Исследование действием как способ трансформации представлений педагогов о применении цифровых сервисов на уроке // *Вопросы образования/Educational Studies Moscow*. 2024. № 2. С. 139–169. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_68007701_30156838.pdf (дата обращения: 5.11.2024).

References

1. Grumova A.G., Dobrotin D.Yu. Zadaniya po predmetam estestvenno-nauchnogo tsikla kak sredstvo otsenivaniya sformirovannosti poznavatel'nykh universal'nykh deystviy v osnovnoy shkole [Assignments in natural science subjects as a means of assessing the development of universal cognitive actions in basic school]. *Pedagogicheskiye izmereniya*, 2024, no. 2, pp. 73–78 (in Russian)
2. Demidova M.Yu. *Metodicheskiye rekomendatsii dlya uchiteley po prepodavaniyu uchebnykh predmetov v obrazovatel'nykh organizatsiyakh s vysokoy doley obuchayushchikhsya s riskami uchebnoy neuspeshnosti. Fizika. 2020* [Methodological recommendations for teachers on teaching academic subjects in educational organizations with a high proportion of students with risks of academic failure. Physics. 2020] (in Russian). URL: <http://doc.fipi.ru/metodicheskaya-kopilka/metod-rekomendatsii-dlya-slabykh-shkol/fizika-mr-oo.pdf> (accessed 5 November 2024).

3. Gribov V.A., Demidova M.Yu. *Metodicheskiye rekomendatsii dlya uchiteley, podgotovlennyye na osnove analiza tipichnykh oshibok uchastnikov EGE 2023 goda po fizike* [Methodical recommendations for teachers, prepared on the basis of the analysis of typical mistakes of participants of the 2023 Unified State Exam in physics]. Moscow, 2023 (in Russian). URL: https://doc.fipi.ru/ege/analiticheskie-i-metodicheskie-materialy/2023/fi_mr_2023.pdf (accessed 5 November 2024).
4. Reddy M.V.B., Panacharoensawad B. Students Problem-Solving Difficulties and Implications in Physics: An Empirical Study on Influencing Factors. *Journal of Education and Practice*, 2017, vol. 8, no. 14, pp. 59–62.
5. Poya D. *Kak reshat' zadachu* [How to solve the problem]. Kirs, Sovetskiye uchebniki Publ., 2023. 208 p. (in Russian).
6. Johnson-Laird, Phil. *How we Reason*. Oxford University Press, 2008. 573 p.
7. *Onlayn podgotovka po matematike i fizike* [Online preparation in mathematics and physics] (in Russian). URL: <https://www.workingmemory.ru/> (accessed 5 November 2024).
8. Kodifikator KIM EGE 2024 g. po fizike [Codifier of KIM USE 2024 in Physics]. URL: https://doc.fipi.ru/ege/demoversii-specifikacii-kodifikatory/2024/fi_11_2024.zip (accessed 5 November 2024) (in Russian).
9. Vostroknutov I.E., Nikiforov G.G., Pal'tsev A.I., Rozanov D.S., Sobolev V.V. *Povysheniye effektivnosti uchebnogo protsessa i rezul'tatov EGE po fizike s ispol'zovaniem nauchnykh kal'kulyatorov CASIO* [Improving the efficiency of the educational process and the results of the Unified State Exam in Physics using CASIO scientific calculators]. Moscow, Onebook.ru Publ., 2017. 83 p. (in Russian).
10. Mestre J.P., Docktor J.L. *The Science of Learning Physics. Cognitive Strategies for Improving Instruction*. Non-Series Books, 2020. doi:10.1142/11998
11. 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 based on the analysis of typical mistakes of participants in the 2022 Unified State Exam in Mathematics]. *Pedagogicheskiye izmereniya*, 2022, no. 4, pp. 61–83 (in Russian).
12. Khlevnyuk N.N., Ivanova M.V., Ivashchenko V.G., Melkova N.S. *Formirovaniye vychislitel'nykh navykov na urokakh matematiki. 5–9 klassy* [Formation of computational skills in mathematics lessons. Grades 5–9]. Moscow, Ileksa Publ., 2022. 296 p. (in Russian).
13. Khlevnyuk N.N., Ivanova M.V. *Formirovaniye vychislitel'nykh navykov na urokakh matematiki. 10–11 klassy* [Formation of computational skills in mathematics lessons. 10–11 grades]. Moscow, Ileksa Publ., 2021. 263 p. (in Russian).
14. 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, Institute of Practical Psychology Publ., Voronezh, MODEK Publ., 1998. 416 p. (in Russian).
15. Chimoni M., Pitta-Pantazi D., Christou C. The association of algebraic thinking with working memory, control of processing, and speed of processing. *Thirteenth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME13)*, Alfréd Rényi Institute of Mathematics; Eötvös Loránd University of Budapest, Jul 2023. Budapest, Hungary. Pp. 520–527. URL: <https://hal.umontpellier.fr/hal-04430809v1/document> (accessed 5 November 2024).
16. William J. Barbaresi, Slavica K. Katusic, Robert C. Colligan, Amy L. Weaver, Steven J. Jacobsen, Math Learning Disorder: Incidence in a Population-Based Birth Cohort, 1976–82, Rochester, Minn, *Ambulatory Pediatrics*, 2005, vol. 5, iss. 5, pp. 281–289, ISSN 1530-1567 (accessed 5 November 2024).
17. Kersha Yu.D., Obukhov A.S. Eksperimental'noye issledovaniye roli onlayn-kruzhkov v povyshenii motivatsii i samoeffektivnosti uhashchikhsya v estestvoznanii [An experimental study of the role of online study groups in increasing students' motivation and self-efficacy in natural sciences]. *Integratsiya obrazovaniya*, 2023, vol. 27, no. 2 (111), pp. 208–226 (in Russian). DOI 10.15507/1991-9468.111.027.202302.208-226
18. Mikhaylova A.M. Issledovaniye deystviem kak sposob transformatsii predstavleniy pedagogov o primenenii tsifrovyykh servisov na uroke [Action research as a way to transform teachers' ideas about the use of digital services in the classroom]. *Voprosy obrazovaniya – Educational Studies Moscow*, no. 2, pp. 139–169 (in Russian). URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_68007701_30156838.pdf (accessed 5 November 2024).

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

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2275-4114>

SPIN-код автора: 4698-0630

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

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2275-4114>

Author's SPIN code: 4698-0630

Статья поступила в редакцию 06.11.2024; принята к публикации 24.04.2025

The article was submitted 06.11.2024; accepted for publication 24.04.2025