УДК 612.821+612.822.3

Е.К. АЙДАРКИН, А. С. ФОМИНА

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ РЕШЕНИИ АРИФМЕТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Работа посвящена исследованию структуры решения арифметической задачи как прототипа деятельности, связанной с формированием мыслительного динамического стереотипа. Анализировалось время решения, качество решения, количество этапов при выполнении примеров с разной эффективностью решения. Предлагается способ оценки эффективности деятельности, неодинаковой для двух разных задач, и, ввиду разной структуры деятельности, рассчитываемых по разным формулам. Проводится экспериментальная проверка предлагаемых алгоритмов оценки эффективности деятельности в зависимости от задачи и успешности решения.

Ключевые слова: сложение, умножение, эффективность деятельности, количество операций, средняя длительность операции.

E.K. AYDARKIN, A.S. FOMINA

DEVELOPMENT OF METHODS FOR EVALUATION OF HUMAN'S MENTAL EFFORT DURING OF EDUCATIONAL TASKS SOLUTION

The study was devoted to investogatiom of the structure of arithmetic problem solving as a prototype of activities related to the formation of a mental dynamic stereotype. The solution time, the number of operations; working memory, the average duration's of operations were analyzed. The method of evaluating the performance of, different for the two different tasks, and in view of the structure of different activities, calculated by different formulas was providing. The experimental verification of the proposed algorithm performance evaluation depending on the task, and the success of the solution were conduct. Keywords: Addition; multiplication; solution time; the number of operations; working memory, the average duration's of operations, the mental dynamic stereotype

Key words: addition; multiplication; solution time; the number of operations; working memory, the average duration's of operations, the mental dynamic stereotype.

Введение

В условиях современного образовательного процесса в высшей школе одной из основных тенденций является снижение количества аудиторных часов и увеличение времени на самостоятельное обучение. В такой ситуации систематизация теоретического материала и его закрепление путем проработки проблемных вопросов и решения теоретических и экспериментальных задач, как правило, затрагивается недостаточно. Ряд образовательных курсов – особенно в начале специализации – еще не позволяет провести ознакомление обучающихся с реальными экспериментальными данными и методами их математической обработки ввиду отсутствия у студентов требуемых базовых навыков. В итоге при переходе к практической работе у студента зачастую отсутствуют не только навыки первичной математической обработки данных, но и навыки поиска, систематизации и изложения больших объемов теоретического материала. Поэтому, в связи с увеличением в новых государственных образовательных стандартах доли самостоятельной работы студентов, уже на уровне бакалавриата необходимо создание и внедрение в ежедневный учебный процесс электронных образовательных ресурсов для эффективного развития требуемых навыков и компетенций.

В условиях образовательного процесса развитие информационных технологий привело к резкому снижению доли сенсомоторных реакций по сравнению с интеллектуальными задачами, не имеющими объективных внешних коррелятов их протекания, и тесно связанными с формированием динамического стереотипа. Вместе с тем возникает серьезная проблема, связанная с контролем, прогнозом и коррекцией эффективной интеллектуальной деятельности человека в реальном времени и с подбором модельной задачи, позволяющей воссоздать реальную ситуацию формирования динамического стереотипа.

Для моделирования процесса формирования динамического стереотипа было выбрано решение арифметических задач разной степени сложности с использованием ряда экспериментальных парадигм. С методической точки зрения математическая задача представляет собой универсальную операторскую мыслительную деятельность, требующую изучения и применения ряда алгоритмов решения [2, 3, 10, 15]. Тонкий анализ временной динамики решения примера и ее психофизиологических коррелятов позволит создать прототип метода оценки количества и структуры когнитивных процессов, задействованных в реализации конкретной образовательной деятельности.

Применение арифметической задачи в качестве модельной деятельности часто происходит в современных методических разработках, где задачи такого рода используются в качестве измерительного инструмента [4, 6, 13], тестового материала [5], дидактических, технических средств и/или игровых материалов и наглядных пособий для развития математического и логического мышления [7, 11, 12], обучения устному счету и математике [1, 8] у детей и взрослых вплоть до создания тренажеров для обучения выполнению задач разного уровня сложности [9]. Такие средства могут использоваться, по предложению разработчиков методов, при любом обучающем процессе, связанном с концентрацией внимания на отдельных элементах изучаемого материала, созданием оптимальных условий для аналитической деятельности, а также при приобретении практических навыков выполнения пошаговых операций тех или иных изучаемых действий [9]. Использование технических средств при обучении арифметике помогает преодолеть ряд недостатков, присущих стандартным способам обучения с применением справочных таблиц, заучиванием правил решения, многократным повторением операций, и зачастую приводящих к механическому запоминанию последовательности действий, а также в связи с отсутствием учета психологических особенностей обучающегося [9]. В то же время использование тренажеров не дает возможности получения математических навыков «с нуля», поэтому их применение более оправдано на завершающем этапе для закрепления и тренировки навыков и повышения эффективности обучения.

Становление прочных арифметических навыков особенно важно ввиду их связи с успехами в освоении естественных наук и формировании пространственных навыков [18]. Доказана корреляция уровня развития математических способностей с общей грамотностью и навыком успешного чтения [17]. Формирование и стабилизация навыка происходит за счет перехода от вычислений к получению решения путем извлечения промежуточных результатов из памяти [16, 21]. С этой позиции выработка стратегии решения заключается в переносе выработанного приема решения на ситуации, в которых они ранее не применялись [16]. Формирование такого базового навыка, как представление чисел и оперирование с ними является необходимым условием для становления комплексного навыка решения арифметических задач [20]. Также доказана корреляция уровня развития навыка оперирования простыми числами с успешностью решения сложных арифметических задач в целом, что может быть обусловлено большей концентрацией внимания при решении сложных задач или большей скоростью обработки данных у индивидов с хорошими навыками оперирования числами [23].

В связи с этим целью настоящей работы была разработка методов оценки эффективности деятельности обучающегося в ходе реализации мыслительного динамического стереотипа, связанного с решением арифметических задач.

Методика исследования

В исследовании приняли участие 28 студентов и сотрудников факультета биологических наук Южного федерального университета (17 женщин, 11 мужчин, средний возраст 24 года), праворукие, без значимых нарушений здоровья. В ходе обследования участники находились в положении сидя за компьютерным столом. Перед обследованием участников информировали о порядке проведения тестовых процедур.

Согласно указанной цели исследования методика заключалась в решении примеров на сложение и умножение двузначных чисел. Обследование включало два теста – Тест1 и Тест2, состоящих из двух блоков: «Сложение» и «Умножение». Каждый блок состоял из 100 примеров; знак арифметической операции внутри блока не менялся. Двузначные цифры (Times New Roman, 44 кегль, черный цвет) использовались как стимулы. Операнды и знаки операций предъявлялись последовательно (рис. 1) в течение 700 мс каждый. Для решения примера на сложение отводилось 25 с, для умножения – 50 с. Между предъявлениями операндов и при решении примеров на экране был серый фон. Ответы набирались в текстовом документе с помощью компьютерной клавиатуры.

В Тесте1 после набора ответа обследуемые однократно нажимали на клавишу манипулятора «мышь». Данный тест использовался в качестве модели сложной деятельности без выделения этапов. В Тесте2 для выделения этапов решения задач участники при решении каждого примера нажимали на кнопку манипулятора «мышь» каждый раз после получения промежуточного результата. После получения итогового результата обследуемые также нажимали на кнопку манипулятора «мышь». Все примеры предъявлялись однократно. После Теста2 участники письменно заполняли бланк отчета, включающий разделение на операции 20 примеров из каждого блока, выбранных произвольным образом и одинаковых для всех участников. Данный тест использовался в качестве модели сложной деятельности в условиях осознанного выделения этапов.

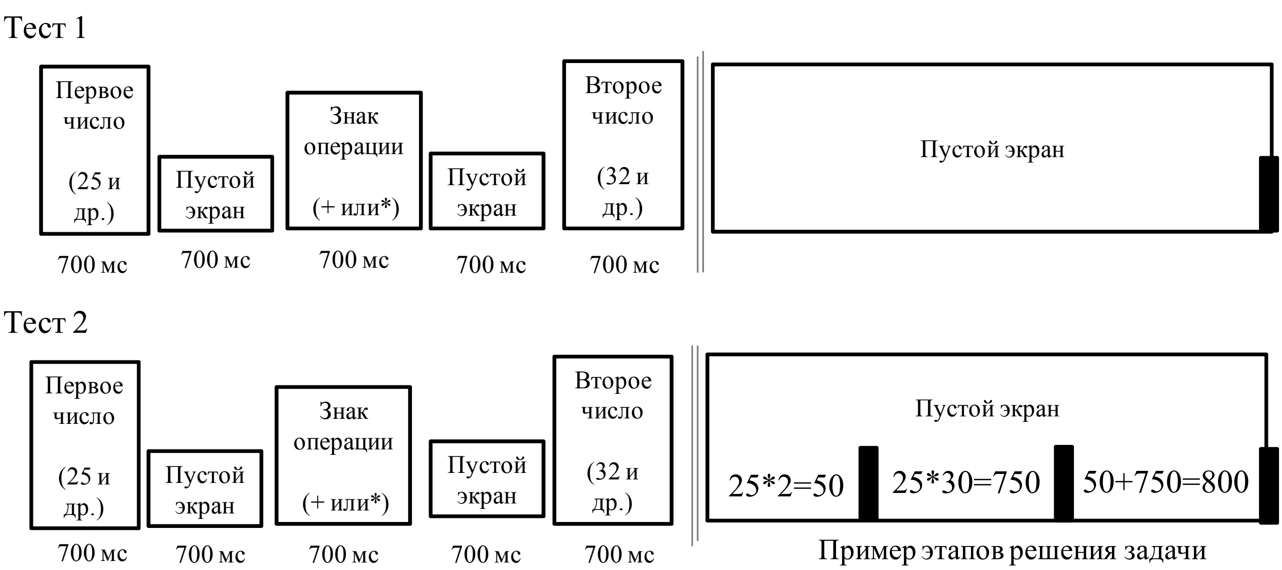


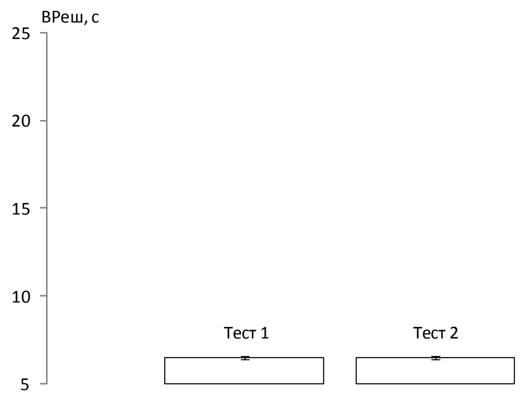
Рис. 1. Схема подачи стимульного материала в условиях Теста1 и Теста2

Все стимулы были выровнены по размеру и яркости и появлялись на сером фоне в центре экрана компьютера, находящемся на расстоянии 60 см на уровне глаз. Предъявление стимулов проводилось с использованием программной среды «Аудиовизуальный слайдер» («Медиком-МТД», г. Таганрог). В ходе обследования проводилась регистрация комплекса электрофизиологических показателей с помощью компьютерного электроэнцефалографа-анализатора «Энцефалан–131–03» («Медиком-МТД», г. Таганрог) монополярно по системе 10–20 в 21 стандартном отведении с шагом дискретизации 4 мс и частотной полосой пропускания 0,5–70,0 Гц. Референтные электроды располагались на мочках ушей, а индифферентный электрод – на лбу.

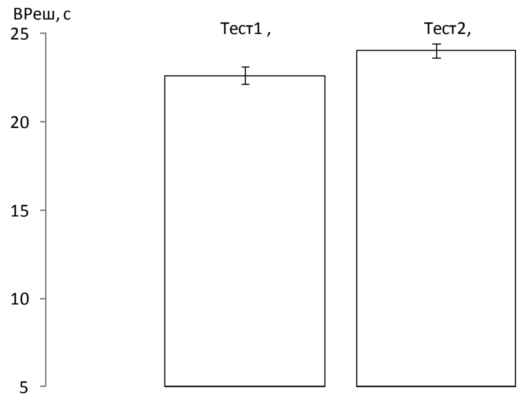
Вычислялись усредненные значения времени решения (ВРеш), качество деятельности как процент правильных ответов, вероятность ошибки, количество операций для каждого блока примеров. Достоверность различий оценивалась с применением многофакторного дисперсионного анализа MANOVA с использованием критерия Фишера.

Результаты исследования

Был проведен анализ зависимости эффективности решения арифметических примеров на сложение и умножение двузначных чисел от количества и длительности элементарных операций при решении в сравнении с таковым решением без выделения операций, включенных в алгоритм достижения конкретного результата. На рис. 2 приведены усредненные значения ВРеш в рамках Теста1 и Теста2. Из рисунка следует, что добавление деятельности в виде нажатия на кнопку при выполнении каждой элементарной операции не влияло на эффективность выполнения последовательности задач на сложение и ВРеш (рис. 2, А). Напротив, для умножения как более сложной задачи добавочная деятельность существенно затрудняла процесс решения (рис. 2, Б). Вследствие этого можно предполагать, что недостатком предложенной методики является некоторое затруднение выполнения деятельности за счет необходимости отвлекаться на выделение каждой операции, что увеличивало время решения. В то же время, несмотря на достоверность различий (F=7,1437, p=0,001), их величина не была (Δ ВРеш 2,5 с) критичной.



А



Б

Рис. 2. Сравнение времени решения примеров в условиях Теста1 и Теста2. *Обозначения*: А – сложение, Б – умножение. По оси ординат – длительность решения примера, с. Знаком «*» отмечены достоверно различающиеся значения

На рис. 3 и в табл. 1 приведены поведенческие параметры решения примеров в условиях Теста2. При анализе динамики ВРеш при сложении было показано, что в алгоритме решения использовалось от 1 до 4 последовательных операций. Наблюдалась линейная зависимость времени решения от числа операций. Доминировали комбинации из 2 и 3 операций с небольшой вероятностью ошибки (табл. 1). Решение в 1 этап приводило к значительной доле ошибочных решений. Наиболее редкими были комбинации из 4 этапов с небольшой вероятностью ошибки. При решении примеров на умножение в алгоритме решения использовалось от 1 до 5 последовательных операций. Выявлена куполообразная зависимость времени решения от числа операций. Доминировали комбинации из 3, 2 и 4 операций с высокой долей ошибок. Решение в 1 и 5 этапов встречалось редко, и было связано с очень высокой долей ошибок.

Таблица 1

Поведенческие параметры решения примеров в условиях Теста2

Задача	Число операций	Время решения ± ошибка среднего, с	Кол-во примеров с данным числом этапов, %	Вероятность ошибки
Сложение	1	4,1±0,38	6,75±3,23	0,36
	2	5,88±0,1	53,13±8,0	0,14
	3	8,72±0,2	27,38±6,3	0,17
	4	11,98±0,75	3,5±0,8	0,12
Умножение	1	17,74±1,38	12,43±4,03	0,73
	2	24,48±0,82	25,71±4,0	0,49
	3	27,57±0,8	28,86±3,0	0,49
	4	27,29±1,08	17,57±4,0	0,44
	5	23,34±1,15	7,29±4,0	0,63

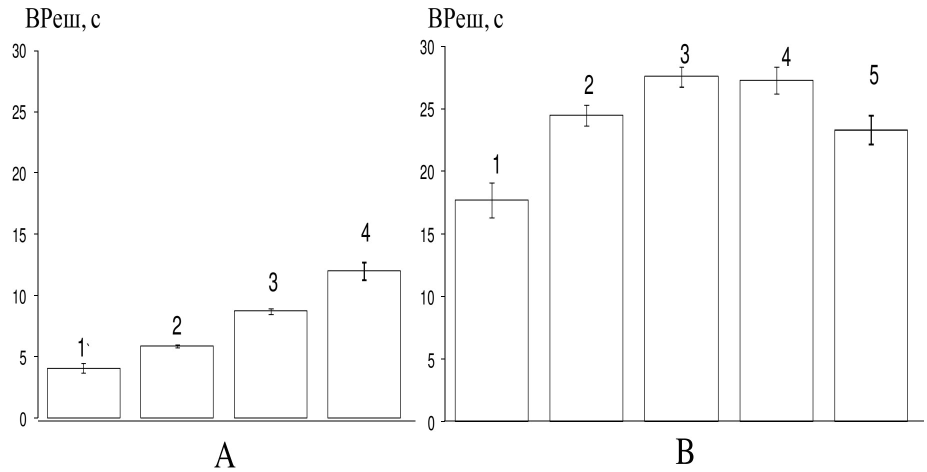


Рис. 3. Усредненное время решения примеров для обеих при выполнении Теста2. *Обозначения*: А – сложение, Б – умножение. По оси абсцисс отмечено количество операций, по оси ординат – длительность решения примера, с. Цифры «1–5» обозначают количество операций (от 1 до 4 операций для сложения и от 1 до 5 операций для умножения)

На основании данных о времени решения, частоте встречаемости комбинаций и вероятности совершения ошибки можно сделать вывод об оптимальности решения в 2 этапа для сложения, и в 3 этапа – для умножения. На основании данного предположения проводился дальнейший анализ данных.

На рис. 4 приведена динамика длительности операций при решении примеров в разное число этапов. Можно видеть, что при решении примеров на сложение в 2 и 3 этапа первый этап длился в два раза дольше второго (4 с и 2–3,5 с соответственно) (рис. 4, А), а длительность 3 этапа имела промежуточное значение. Следует отметить, что первая операция во всех комбинациях была связана уже с началом решения примера, а не с восприятием условия, поскольку в задачу обследуемого не входило отмечать этот этап.

При решении примеров на умножение для примера, решаемого в 3 операции, показано использование стандартного алгоритма решения путем последовательного перемножения отдельных частей операндов (так называемое «умножение в столбик»), происходящее в кратковременной памяти. Это следует из динамики длительности операций, где это значение было больше при реализации 1-й и 2-й операций (промежуточное умножение) в сравнении с третьей (сложение результатов). Для остальных вариантов наблюдалось последовательное сокращение длительности операций, минимум которой показан для решения примера в 5 операций.

При решении в 4 этапа для сложения показана тенденция снижения длительности первого этапа и рост длительности второго при сохранении описанного для предыдущих случаев соотношения длительности. Для сложения пример в 4 операции является примером неуспешного решения, продолжением ситуации с трехэтапным действием. Здесь также представлена стадия проверки операции, что приводило к небольшой вероятности ошибки. Таким способом примеры решались редко. При умножении этот способ не может быть признан высокоэффективным, поскольку длительность и эффективность решения не отличались от таковых при решении примера в три этапа, но требовали постоянного самоконтроля.

Комбинация из пяти операций характеризовалась снижением длительности операций, при сходстве длительности первых четырех наблюдалось существенное доминирование по продолжительности пятой операции. Вероятно, это связано с попытками увеличения скорости выполнения задания, вследствие чего результат выполнения промежуточных операций оказывался неверным. Динамика длительности операций при решении в 5 этапов наряду с очень высоким процентом ошибок также могла свидетельствовать о необходимости полного, но неуспешного перерешивания примера.

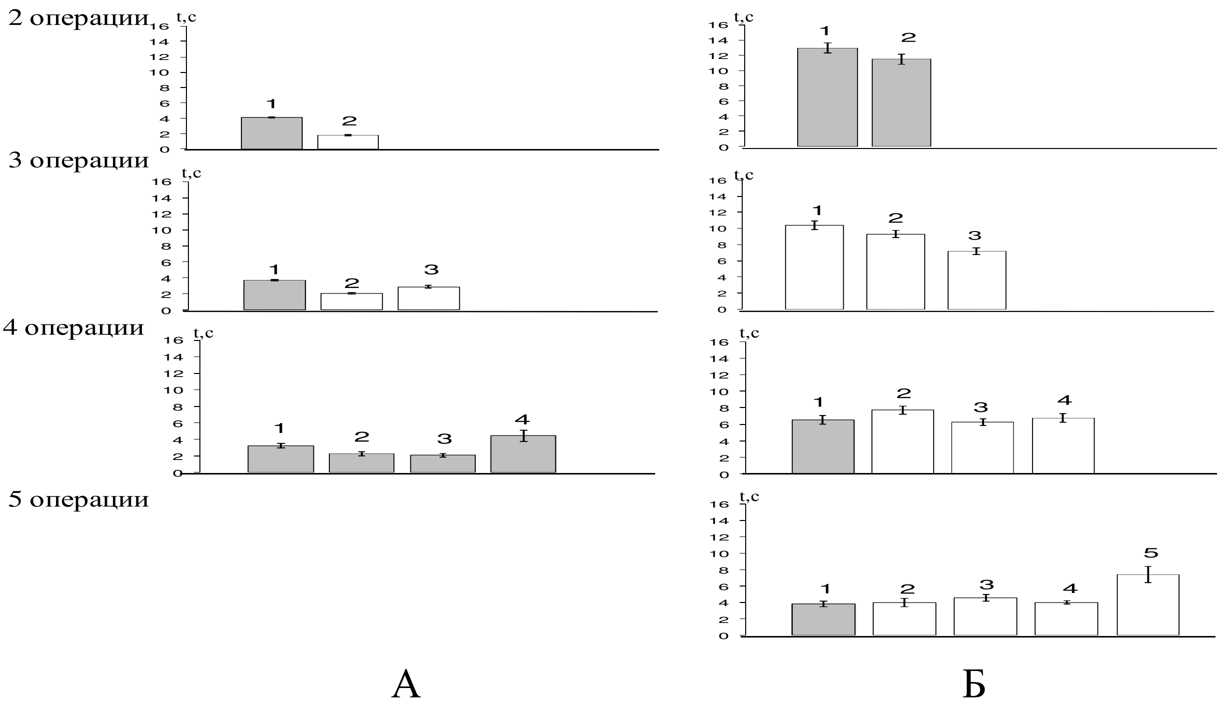


Рис. 4. Усредненная длительность операций в зависимости от их количества при выполнении Теста2. *Обозначения* те же, что для рис. 3

Таким образом, при сложении во всех случаях длительность двух первых операций не зависела от числа этапов в последовательности, достоверно не различалась и составляла 5,86 с, 5,74 с, 5,47 с. Поскольку оптимальное число этапов решения составляло 2 этапа, можно предполагать, что данный временной промежуток является достаточном для эффективного решения. Отклонение от него может являться параметром эффективности деятельности и рассчитываться по формуле

$$Э = \frac{(T_0 - T_i)}{T_0} \times 100~\%,$$

где Э – эффективность; T_i – общее время решения i-го примера, с; T_0 – время выполнения примера в 2 операции (или – время выполнения двух первых операций), с.

На рис. 5 и в табл. 2 представлены рассчитанные для данной группы обследуемых показатели Э при выполнении сложения. Можно видеть, что значения Э для решения в 3 и 4 этапа достоверно отличались друг от друга и значений Э при решении в 2 этапа. Минимальное значение Э показано для решения в 4 этапа. Для 1-го этапа значение Э, отличное от нуля и положительное, вероятно, связано с комплексированием ряда стадий без их осознанного выделения.

Таблица 2

Значение эффективности Э, рассчитанное для сложения для обследованной группы

Число этапов	1	2	3	4
Э	30,17915	0	–46,9823	–104,242

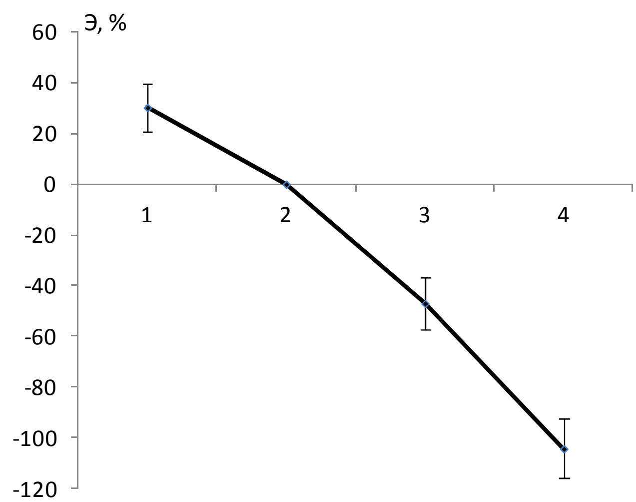


Рис. 5. Значения Э, рассчитанные при выполнении сложения для обследованной группы. *Обозначения*: по оси абсцисс – число этапов, по оси ординат – Э, %.

Для более сложной задачи длительность двух первых операций не была постоянной и линейно снижалась с увеличением числа этапов. Следовательно, расчет значений эффективности деятельности по описанный выше формуле не совсем корректен. На наш взгляд, целесообразно применить такой параметр, как усредненная длительность операции для каждой комбинации, рассчитываемый по формуле:

$$\tau = \frac{T_{общ}}{N},$$

где τ – усредненная длительность операций; $T_{общ}$ – общее время решения примера, с; N – число этапов решения примера.

При анализе τ при решении примеров на сложение было показано, что значение данного параметра достоверно не зависело от числа этапов решения (рис. 6 и табл. 3). Следовательно, для

Таблица 3

Усредненная длительность операций τ, рассчитанная для обеих задач для обследованной группы

Число этапов	2	3	4	5
Сложение				
τ	2,93	2,87	2,99	–
Умножение				
τ	12,24	8,97	6,827	4,75

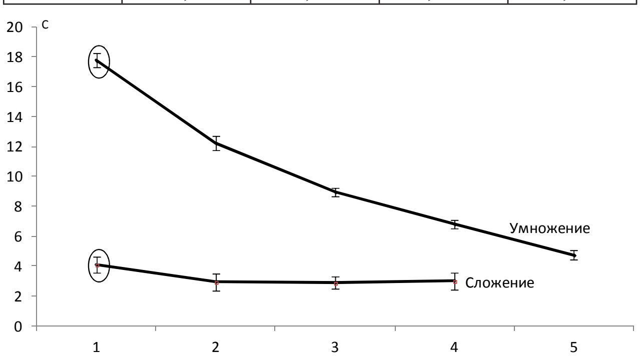


Рис. 6. Усредненная длительность операций в зависимости от их числа при решении примеров на сложение и умножение. *Обозначения*: по оси абсцисс – число этапов, по оси ординат – длительность операции, с. Овалом выделено решение примеров в 1 этап

сложения данный параметр нечувствителен к числу этапов и качеству деятельности. При расчете τ для умножения было показано линейное снижение длительности операций с ростом числа этапов. При этом Δτ составляла 4 с между 2-м и 3-м этапами, и ~ 2 с между 4-м и 5-м. Наличие четкой зависимости данного параметра от числа этапов позволяет использовать его для оценки уровня напряженности при решении сложной задачи. На рисунке на основании рассчитанных доверительных интервалов рамкой показаны границы значений τ, которые можно рассматривать как соответствующие нормативным значениям в данной группе.

С учетом выделенных границ оптимума, а также рассчитываемой выше вероятности ошибочного решения можно предполагать, что выполнение сложной деятельности по решению примеров на умножение будет эффективным при соблюдении следующего условия для τ:

$$2{,}5 \le \tau \le 4.$$

Для иллюстрации был проведен расчет значений τ для нескольких обследованных при выполнении обеих задач. На рис. 7 приведены значения *τ* при выполнении сложения. Для данной задачи разделения обследованных по результатам качества деятельности не проводилось, поскольку зависимости значений и динамики τ от данного параметра не выявлено. Из рисунка следует, что у большинства обследованных динамика и значения τ были сходны с общегрупповыми значениями.

Для умножения расчет значений τ для нескольких обследованных проводился в зависимости от качества деятельности (рис. 8). Для группы с высоким качеством решения (рис. 8, А) показано совпадение индивидуальных распределений τ с общегрупповой тенденцией с небольшим разбросом значений. При этом в рамки значений, рассчитанных как оптимум для группы, попадали значения τ для 2, 3 и 4 операций для всех обследованных. Для случаев наиболее неуспешного решения с 1-го и 5-го этапов значения τ для всех участников отличались от групповой динамики и выявлялись не у всех. Следовательно, для неуспешного решения значения τ во многом были индивидуальны и связаны с характерными для каждого обследованного причинами ошибок.

Для группы с низким качеством решения (рис. 8, Б) показан большой разброс значений τ, наличие выбросов и локализация ряда значений τ вне описанных выше границ оптимума. При этом такое смешение было связано с увеличением значений τ и сдвигом в сторону меньшего числа этапов решения. Вкупе с высокой вероятностью ошибочного решения это свидетельствует о выборе неоптимального для задачи способа решения.

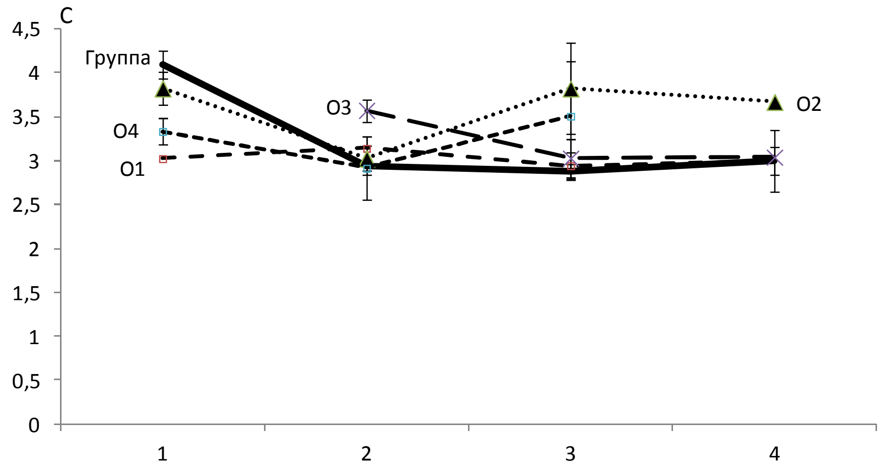


Рис. 7. Усредненная длительность операций в зависимости от их числа при решении примеров на сложение. *Обозначения*: «Группа» – общегрупповые значения, О1, О2, О3, О4 – значения τ для отдельных обследованных. По оси абсцисс – число этапов, по оси ординат – длительность операции, с

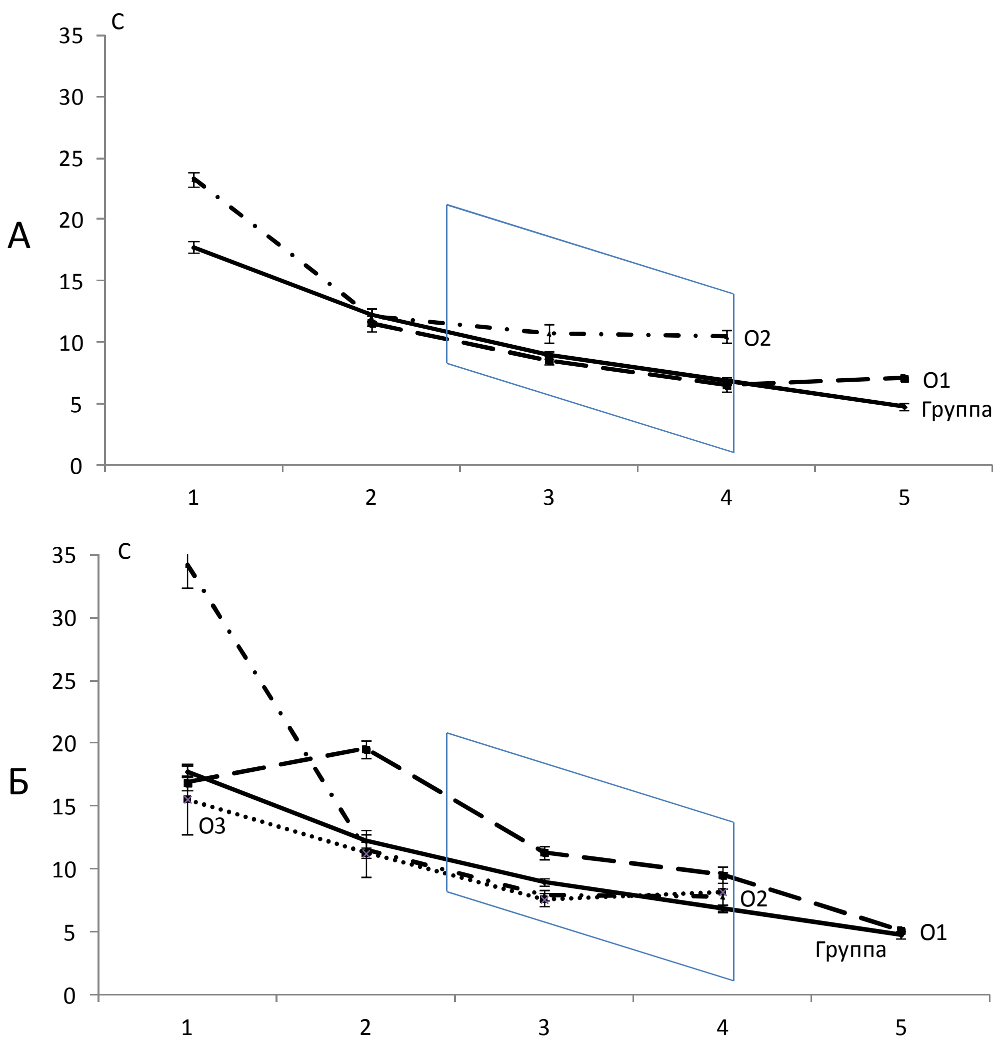
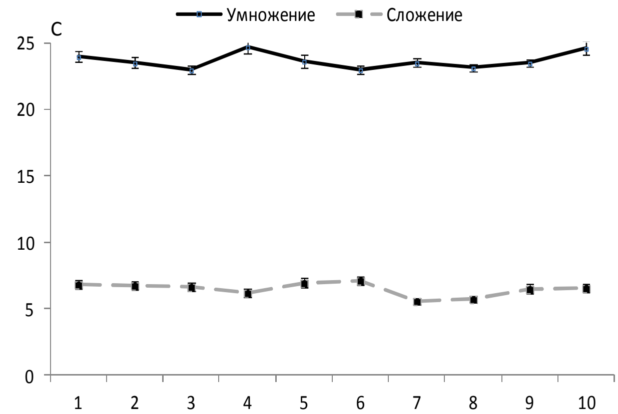
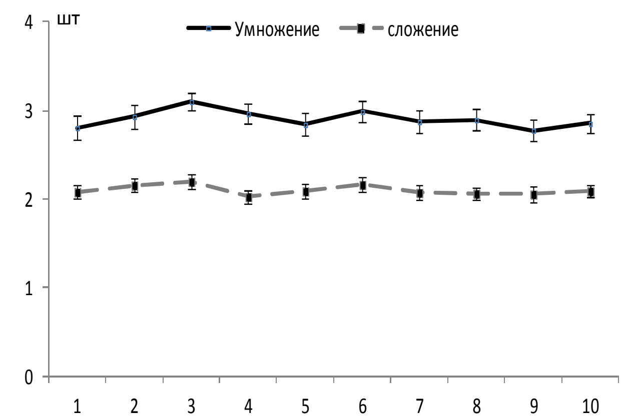


Рис. 8. Усредненная длительность операций в зависимости от их числа при решении примеров на умножение. *Обозначения*: А, Б – участники соответственно с высоким и низким процентом правильных ответов. «Группа» – общегрупповые значения, О1, О2, О3 – значения τ для отдельных обследованных. По оси абсцисс – число этапов, по оси ординат – длительность операции, с

На рис. 9 приведена динамика времени решения примеров и числа операций при решении всего блока примеров для 10 этапов для обеих задач. Каждый этап включал 10 примеров. При анализе динамики времени решения и числа операций для сложения зависимости динамики двух параметров выявлено не было. Время решения достоверно снижалось на 4-м, 7-м и 8-м этапах в сравнении с первым. Для числа операций снижение на 4-м этапе не было достоверным. В целом для обоих параметров не показано значимого разброса значений на протяжении всего тестирования.



А



Б

Рис. 9. Динамика поведенческих показателей в условиях высокого качества решения примеров при выполнении обеих задач Теста2. *Обозначения*: А – время решения, с. По оси абсцисс отмечен номер этапа, по оси ординат – время решения, с. Б – число операций. По оси ординат отмечено число операций.

При анализе динамики времени решения и числа операций для умножения была выявлена обратная зависимость двух параметров. Время реакции снижалось от 1-го этапа к 3-му, где различия были достоверны. Одновременно от 1-го к 3-му этапу происходило увеличение числа операций. На последних этапах данная тенденция сохранялась, но присутствовала на границе достоверности. Вероятно, корреляция длительного времени решения с малым числом этапов была связана с «углублением» в выполнение задачи, вследствие чего происходило отвлечение от выполнения добавочной деятельности. Это также подтверждается преобладанием высокого качества решения для примеров, решаемых в 3 этапа. С этой позиции наблюдаемое на 3-м этапе резкое снижение времени решения и повышение числа этапов решения, вероятно, свидетельствует о приспособлении к экспериментальной ситуации. Ввиду невысокого качества решения примеров наличие эффекта врабатывания не предполагается.

Следовательно, имеются существенные различия эффективности и качества решения арифметических примеров на сложение и умножение двузначных чисел как моделей простой и сложной деятельности. Для примеров на сложение требуется меньше времени и количества элементарных операций, с наибольшей эффективностью решения при алгоритме, включающем в себя две операции. При умножении оптимальным был алгоритм решения, состоящий из трех операций. Для оптимальных комбинаций наиболее длительной является первая операция, которая монотонно уменьшается при увеличении количества операций. Для неоптимальных комбинаций, включающих в себя много операций, наиболее длительной является последняя.

Обсуждение

Нами сделана попытка разработки нового подхода к оценке эффективности решаемой задачи, позволяющего смоделировать реальный процесс получения задания, обработки и фиксации результата. Метод базируется на основании добавления в экспериментальную среду простой добавочной деятельности (отличавшейся по содержанию от основной задачи), оценка эффективности которой может использоваться как обратный маркер эффективности выполнения сложной когнитивной задачи. Методика была реализована на основании двух модельных задач, сходных по содержанию добавочной деятельности, и различавшихся по содержанию и уровню сложности. Для этого были введены следующие параметры:

1) время решения всего блока заданий;

2) время решения отдельных заданий;

3) качество деятельности;

4) количество и динамика этапов решения примеров.

Преимуществом методики является распределение ресурсов внимания между непосредственно решением примера и необходимостью выполнять добавочную деятельность. Ввиду наличия этапов восприятия задания, осознаваемого решения и ввода ответа, а также четкой разделенности процесса выполнения сложной, разной по содержанию деятельности, методика представляется адекватной для применения ее в качестве прототипа для моделирования реального образовательного процесса, состоящего из ряда взаимосвязанных этапов. Также ввиду указанной неоднородности арифметической задачи возможен подбор индивидуального паттерна распределения элементарных операций в зависимости от их длительности и количества, соответствующий каждому конкретному типу учебной деятельности с последующим анализом причин возникновения ошибок, как это было сделано для процесса умножения двузначных чисел. Поскольку учебная деятельность представляет собой набор повторяющихся, прерывающихся и возобновляемых этапов по освоению материала, проводить моделирование задания целесообразно с двух позиций: оценки структуры деятельности, и, исходя из нее, вероятности совершения ошибки на том или ином этапе, и с позиции затрат когнитивных ресурсов.

Анализ эффективности и качества решения арифметических примеров на сложение и умножение двузначных чисел показал их существенные различия в организации конкретных алгоритмов, что согласуется с рядом работ [14, 15, 19, 24]. Другими словами, время решения определяется не сложностью примера, а количеством операций, которое выбрал испытуемый для его решения. Данные результаты, вероятно, свидетельствуют о том, что при комбинации в 4 операции основное решение принимается в конце, а в более простых комбинациях – в начале. Для решения примеров на умножение время решения имело куполообразную зависимость от количества операций в комбинации, что вероятно, связано с тем, что умножение двузначных чисел не является жестко процедурным алгоритмом, а зависит скорее всего от длительности удержания условия и промежуточных операций в кратковременной памяти [22]. Это подтверждается более длительным временем решения, которое приблизительно одинаково для всех комбинаций, и сокращением средней длительности операций в комбинации в зависимости от их количества. Данное напряжение ресурсов памяти при умножении двузначных чисел, вероятно, не достаточно и приводит к высокой доле (свыше 0,5) ошибочных решений.

Ввиду неоднородности деятельности по решению примеров целесообразно использование двух разных показателей эффективности деятельности. Линейная зависимость длительности решения примеров от числа этапов и отсутствие достоверных изменений длительности элементарных операций с ростом их числа позволяет использовать $\Delta T_{общ}$ как показатель эффективности деятельности: рост значений данного показателя в сравнении с таковыми при решении примера в 2 этапа свидетельствует о снижении эффективности решения. Правомочность данного утверждения была доказана при апробации формулы расчета на реальных экспериментальных данных.

Уменьшение длительности элементарных операций и куполообразная зависимость $T_{общ}$ от числа этапов при умножении не позволяет использовать $\Delta T_{общ}$ как показатель эффективности деятельности с достаточной степенью достоверности. Вводимый нами параметр средней длительности операции τ, а также возможность практического определения оптимума его значений и допустимого отклонения позволяет использовать τ для оценки эффективности решения сложной нелинейной задачи.

Различия в решении примеров с использованием разного числа операций, проявляющиеся как в характеристиках вероятности решения, так и во временных характеристиках, могут быть объяснены на основе выдвинутого предположения о последовательном характере обработки информации в условиях навязанного алгоритма решения. Динамика времени решения позволяет предполагать частичное перекрытие операций при выполнении умножения.

В дальнейшем перспективным является развитие подхода к анализу причин ошибочных решений и отклонению динамики операций и длительности решения от нормативных для группы на основе вероятностного прогнозирования ошибок без включения в ситуацию добавочной деятельности. Это необходимо для создания методов контроля, прогноза и коррекции ошибок в ходе реального образовательного процесса, не предусматривающего добавление вторичной деятельности, способной существенно затруднить процесс получения знаний. Поскольку удлинение времени решения сложной задачи может быть обусловлено двумя факторами – увеличением длительности этапов, или ростом их числа при сохранении длительности – необходима разработка метода, позволяющего без добавления деятельности, затрудняющей – хоть и незначительно – решение задачи, проанализировать успешность выполнения на основании полученных нормативов и более тонких данных о структуре задачи. Для решения этого вопроса предполагается проведение оценки уровня когнитивного напряжения в процессе решения одного примера с последующим усреднением и разработкой нормативных значений.

Литература

1. *Абибулаева М.В.* Способ обучения арифметике детей дошкольного возраста // Патент РФ 2008139535/12, 07.10.2008. № 2403624, заявл. 2008139535/12, 07.10.2008, опуб. 20.04.2010.

2. *Бияшева З.Г., Швецова Е.В.* Информационный подход к анализу возрастной динамики ЭЭГ мальчиков и подростков 7–18 лет при решении в уме арифметических задач // Физиол. человека. 1993. Т. 19, № 5. С. 5–11.

3. *Бияшева З.Г., Швецова Е.В.* Методы анализа ЭЭГ на основе концепции информации // Успехи физиологических наук. 1999. Т. 22, № 3. С. 61.

4. *Голикова О.Г., Городецкий И.Г., Садов В.А.* Способ оценки уровня подготовки оператора // Патент РФ 4927103/14, 11.04.1991. № 2038043, заявл. 4927103/14, 11.04.1991, опуб. 27.06.1995.

5. *Изнаиров Б.М., Васин А.Н.* Математическая головоломка // Патент РФ A63F9/08, 10.07.1992. № 2038838, заявл. 5050790/12, 01.07.1992, опуб. 09.07.1995.

6. *Исаков С.В., Дыбов В.А., Гайнанов Д.Н., Рябов А.Б.* Способ обучения // Патент РФ A63F9/06, 23.12.1992. № 2031682, заявл. 92011006/12, 23.12.1992, опуб. 27.03.1995.

7. *Литвинов В.П., Трегубов В.П., Литвинов А.В., Литвинов П.В.* Игра «Занимательная арифметика» // Патент РФ A63F9/06, 25.02.1993. № 2060752, заявл. 93009412/12, 25.02.1993, опуб. 27.05.1996.

8. *Попов А.Ф.* Математическая игра // Патент РФ G09B19/02, 19.01.1998. № 2132711, заявл. 98100945/12, 19.01.1998, опуб. 10.07.1999.

9. *Протасенко М.С.* Средство и способ обучения алгебре и началам анализа // Патент РФ G09B19/02 20.02.2001. № 2182368, заявл. 2001104519/12, 20.02.2001, опуб. 10.05.2002.

10. *Свидерская Н.Е., Королькова Т.А.* Пространственная организация ЭЭГ и индивидуальные психологические характеристики // Журн. высш. нервн. деят. 1996. Т. 46, № 4. С. 689.

11. *Степанов Ю.В.* Средство обучения счету // Патент РФ 97115086/12, 04.09.1997. № 2116675. заявл. 12, 04.09.1997; опуб. 27.07.1998.

12. *Творогов В.Б.* Способ обучения и модель таблицы умножения/деления на основе девяти матриц – девятилистника, обладающего двухуровневыми локальными и глобальными симметриями // Патент РФ 99103870/12, 26.02.1999. №, 2139575, заявл. 26.02.1999; опуб. 10.10.1999.

13. *Яновская Н.Н.* Способ обучения (варианты) // Патент РФ A61B5/16, 10.0402002. № 2231975, заявл. 2002109207/14, 10.04.2002, опуб. 10.07.2004.

14. *Campbell J.I.D., Epp L.J.* Architectures for arithmetic // J. I. D. Campbell (Ed.), Handbook of mathematical cognition. New York, 2005. P. 347–360.

15. *Dehaene S., Piazza M., Pinel P., Cohen L.* Three parietal circuits for number processing // Cognitive Neuropsychology. 2003. Vol. 20(3–6). P. 487–506.

16. *D'Eredita Michael A., Hoyer William J.* Transfer of instances in cognitive skill learning: adult age differences // Experimental Aging Research. 2010. Vol. 36. P. 23–39.

17. *Farrington-Flint L., Vanuxem-Cotterill S., Stiller J.* Patterns of problem-solving in children's literacy and arithmetic // Br. J. Dev. Psychol. 2009. Vol. 27(4). P. 815–834.

18. *Gunderson E.A., Ramirez G., Beilock S.L., Levine S.C.* The relation between spatial skill and early number knowledge: the role of the linear number line // Dev. Psychol. 2012. Vol. 48(5). № 1229–1241.

19. *Imbo I., Duverne S., Lemaire P.* Working memory, strategy execution, and strategy selection in mental

arithmetic // The quarterly journal of experimental psychology. 2007. Vol. 60 (9). P. 1246–1264.

20. *Landerl K., Bevan A., Butterworth B.* Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8–9 year-old students // Cognition. 2004. Vol. 93. P. 99–125.

21. *Rickard T.C.* Strategy execution in cognitive skill learning: An item-level test of candidate models // Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition. 2004. Vol. 30. P. 65–82.

22. *Serrien D.J., Pogosyan A.H., Brown P.* Influence of working memory on patterns of motor related cortico-cortical coupling // Exp. Brain. Res. 2004. Vol. 155(2). P. 204–210.

23. *Thevenot Catherine, Pierre Barrouillet, Caroline Castel, Sonia Jimenez* . Better elementary number processing in higher skill arithmetic problem solvers: Evidence from the encoding step // The quarterly journal of experimental psychology 2011. Vol. 64 (11). P. 2110–2124.

24. *Zbrodoff N.J., Logan G.D.* What everyone finds: The problem-size effect // Handbook of Mathematical Cognition. Edited by Edited by Campbell JID. New York, 2004. P. 331–345.

Южный федеральный университет, Учебно-научно-исследовательский институт биомедицинских информационных технологий ЮФУ