

DATA SCIENCE В УПРАВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ

Роль интерактивных образовательных приложений в развитии навыков решения математических задач у третьеклассников

Оксана Викторовна Коробова

Кандидат педагогических наук, доцент кафедры Теории и методики дошкольного и начального образования

Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина

Тамбов, Россия

korobova@tsutmb.ru

ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 06.03.2025

Принята 27.04.2025

Опубликована 15.05.2025

УДК 004.421.2

DOI 10.25726/p0932-5903-2704-c

EDN FJGXAK

БАК 5.8.7. Методология и технология профессионального образования (педагогические науки)

OECD 05.03.HE. EDUCATION, SPECIAL

Аннотация

Настоящее исследование посвящено комплексному анализу эффективности использования интерактивных образовательных приложений в процессе формирования математических компетенций у учащихся третьих классов общеобразовательных учреждений. Актуальность тематики обусловлена трансформацией образовательной парадигмы в контексте цифровизации и необходимостью научно обоснованной интеграции технологических решений в математическое образование младших школьников. В рамках исследования реализован смешанный методологический подход, сочетающий квазиэкспериментальный дизайн, лонгитюдные наблюдения и статистический анализ. Эмпирическую базу составили данные педагогического эксперимента с участием 487 учащихся из 22 образовательных учреждений различных регионов Российской Федерации в период 2022-2023 годов. Результаты демонстрируют значимое повышение математической успеваемости в экспериментальной группе (на 28,4%, $p < 0,001$) по сравнению с контрольной группой при систематическом использовании интерактивных образовательных приложений. Выявлена положительная корреляция между регулярностью применения приложений и качеством усвоения математического материала ($r = 0,74$), а также между интерактивностью образовательного контента и уровнем когнитивной вовлеченности учащихся ($r = 0,68$). Установлено, что наибольший педагогический эффект достигается при интеграции приложений с элементами геймификации и адаптивной обратной связью. Дифференцированный анализ выявил различия в эффективности приложений в зависимости от исходного уровня математической подготовки учащихся и социально-экономического контекста образовательного учреждения. Теоретическая значимость исследования заключается в расширении представлений о механизмах формирования математических компетенций в цифровой образовательной среде, а практическая ценность – в разработке методических рекомендаций по интеграции интерактивных приложений в образовательный процесс.

Ключевые слова

интерактивные образовательные приложения, математические компетенции, начальное образование, цифровая дидактика, геймификация, адаптивное обучение, образовательные технологии.

Введение

Глобальная трансформация образовательной парадигмы, обусловленная интенсивной цифровизацией социально-экономических процессов, актуализирует проблематику эффективной интеграции технологических решений в педагогическую практику на всех уровнях образовательной системы. Особую значимость данная проблематика приобретает в контексте начального математического образования, которое закладывает фундаментальные когнитивные структуры и обеспечивает формирование базовых компетенций, определяющих дальнейшую образовательную траекторию обучающихся. Анализ современного состояния исследований в данной области свидетельствует о формировании устойчивого научного интереса к потенциалу интерактивных образовательных приложений как инструмента оптимизации процесса формирования математических навыков у младших школьников (Cheung, 2013). Существующие исследования демонстрируют неоднозначность результатов цифровизации математического образования, что обусловлено поливариативностью педагогических контекстов, гетерогенностью технологических решений и динамичностью образовательных практик (Moyer-Packenham, 2012).

Современная научно-педагогическая дискуссия о роли цифровых инструментов в математическом образовании младших школьников характеризуется наличием диаметрально противоположных позиций. С одной стороны, ряд исследований демонстрирует значительный образовательный потенциал интерактивных приложений, выражающийся в интенсификации учебно-познавательной деятельности, индивидуализации образовательных траекторий и повышении мотивационной составляющей обучения (Falloon, 2013). С другой стороны, фиксируются риски депersonализации образовательного процесса, редукции социально-коммуникативной составляющей обучения и формирования специфических паттернов когнитивной деятельности, не способствующих системному математическому мышлению (Calder, 2015). Систематический мета-анализ эмпирических исследований, проведенных в период 2018-2023 гг., демонстрирует статистически значимую корреляцию между использованием интерактивных математических приложений и развитием вычислительных навыков ($r=0,42$), пространственного мышления ($r=0,38$) и способности к решению нестандартных задач ($r=0,29$) у учащихся начальной школы (Bray, 2017). Однако следует отметить методологическую гетерогенность существующих исследований, ограничивающую возможности генерализации полученных результатов и формирования консолидированной теоретической базы интеграции цифровых технологий в математическое образование (Watts, 2016).

Терминологический анализ дискурсивного поля исследуемой проблематики выявляет существенные разночтения в концептуализации ключевых понятий. В частности, понятие «интерактивное образовательное приложение» трактуется как в узком инструментальном контексте программного обеспечения, так и в широком социально-педагогическом аспекте цифровой образовательной среды (Deunk, 2018). В рамках настоящего исследования под интерактивным образовательным приложением понимается программный продукт образовательной направленности, функционирующий на различных электронных устройствах, обеспечивающий многоуровневое взаимодействие с пользователем, адаптивность образовательного контента и наличие немедленной обратной связи. Понятие «математические навыки» в контексте начального образования операционализируется через триаду когнитивных компонентов: вычислительную беглость, пространственно-логическое мышление и метакогнитивные стратегии решения задач (Husain, 2021). Термин «образовательная эффективность» концептуализируется как интегральный показатель, включающий академическую результативность, когнитивную вовлеченность и трансфер сформированных компетенций в различные учебные и внеучебные контексты (Cai, 2019).

Анализ существующих исследований позволяет идентифицировать ряд нерешенных проблем в данной предметной области. Во-первых, остается недостаточно изученным вопрос о дифференцированной эффективности различных типов интерактивных приложений в зависимости от индивидуально-психологических характеристик обучающихся и педагогического контекста (Sagata, 2009). Существующие исследования преимущественно фокусируются на генерализованных эффектах, не учитывая гетерогенность образовательных ситуаций и вариативность педагогических практик. Во-

вторых, требует дальнейшего изучения проблематика долгосрочных эффектов интеграции цифровых инструментов в математическое образование, поскольку большинство исследований ограничиваются краткосрочными образовательными результатами, не отслеживая устойчивость сформированных компетенций (Higgins, 2019). В-третьих, сохраняется дефицит исследований, анализирующих механизмы трансфера математических навыков, сформированных в цифровой среде, в контекст решения практических задач в реальных ситуациях (Zakaria, 2016). Наконец, недостаточно изученным остается вопрос о синергетических эффектах интеграции интерактивных приложений в целостную систему математического образования, включающую традиционные педагогические практики и социально-коммуникативные аспекты обучения.

Уникальность предлагаемого в настоящем исследовании подхода заключается в разработке и эмпирической валидации комплексной модели интеграции интерактивных образовательных приложений в систему формирования математических компетенций у учащихся третьих классов. В отличие от существующих моделей, фокусирующихся на отдельных аспектах цифровизации математического образования, предлагаемый подход основывается на принципах системности, контекстуальности и устойчивости образовательных эффектов. Методологическая новизна исследования заключается в применении смешанного дизайна, сочетающего квазиэкспериментальные методы, лонгитюдные наблюдения и многомерный статистический анализ, что позволяет преодолеть ограничения существующих исследований и обеспечить экологическую валидность полученных результатов. Практическая значимость исследования определяется разработкой научно обоснованных рекомендаций по оптимизации процесса интеграции интерактивных приложений в систему начального математического образования с учетом гетерогенности образовательных контекстов и индивидуально-психологических особенностей обучающихся.

Материалы и методы исследования

Методологическая стратегия настоящего исследования основывается на интеграции количественных и качественных подходов в рамках смешанной исследовательской парадигмы, что обеспечивает комплексное изучение многомерной проблематики цифровизации математического образования. Выбор данной методологической стратегии обусловлен необходимостью сочетания строгой количественной оценки образовательных эффектов с углубленным анализом педагогических механизмов и контекстуальных факторов интеграции интерактивных приложений в образовательный процесс (Larkin, 2015). Квазиэкспериментальный дизайн с предварительным и итоговым измерениями в экспериментальной и контрольной группах обеспечивает возможность выявления причинно-следственных связей между использованием интерактивных приложений и динамикой математических компетенций обучающихся, а лонгитюдный компонент позволяет оценить устойчивость образовательных эффектов и процессы трансфера сформированных навыков (Young, 2012).

Эмпирическую базу исследования составили 487 учащихся третьих классов из 22 общеобразовательных учреждений, расположенных в различных регионах Российской Федерации. Репрезентативность выборки обеспечивалась квотным отбором образовательных учреждений с учетом их территориального расположения (мегаполис – 4 школы, крупный город – 6 школ, малый город – 8 школ, сельская местность – 4 школы), социально-экономического контекста (высокий СЭС – 5 школ, средний СЭС – 12 школ, низкий СЭС – 5 школ) и технологической оснащенности (высокая – 7 школ, средняя – 10 школ, базовая – 5 школ). Формирование экспериментальной ($n=243$) и контрольной ($n=244$) групп осуществлялось методом рандомизированного кластерного отбора с обеспечением эквивалентности групп по ключевым параметрам: половозрастному составу (экспериментальная группа: 51,4% мальчиков, 48,6% девочек, средний возраст $9,3 \pm 0,4$ года; контрольная группа: 50,8% мальчиков, 49,2% девочек, средний возраст $9,4 \pm 0,3$ года), исходному уровню математической подготовки (средний балл по стандартизированному тесту: экспериментальная группа – $74,2 \pm 8,5$, контрольная группа – $73,9 \pm 8,7$) и социально-демографическим характеристикам семей (Hwang, 2014).

Процедура исследования включала несколько последовательных этапов. На подготовительном этапе (сентябрь-октябрь 2022 г.) осуществлялась диагностика исходного уровня математических

компетенций обучающихся с использованием стандартизированного математического теста, адаптированного для учащихся третьих классов (α -Кронбаха = 0,86), и проводилось анкетирование учителей ($n=48$) и родителей ($n=487$) с целью выявления контекстуальных факторов математического образования. На формирующем этапе (ноябрь 2022 г. – апрель 2023 г.) в экспериментальной группе реализовывалась программа интеграции интерактивных образовательных приложений в процесс математического образования, включающая систематическое использование пяти специально отобранных приложений различных типов: тренажера вычислительных навыков, визуализатора геометрических концепций, симулятора решения текстовых задач, адаптивной системы формирования математических понятий и геймифицированной платформы математических соревнований. Внедрение осуществлялось по единому протоколу, предусматривающему 40-минутное еженедельное использование каждого приложения в рамках урочной деятельности и дополнительное использование в домашних условиях (с фиксацией времени использования). Контрольная группа продолжала обучение по стандартной программе без систематического использования интерактивных приложений. На контрольном этапе (май 2023 г.) проводилась итоговая диагностика уровня математических компетенций обучающихся с использованием параллельной формы стандартизированного теста и дополнительных диагностических инструментов, направленных на оценку трансфера сформированных навыков. Отсроченный контроль (октябрь 2023 г.) обеспечивал оценку устойчивости образовательных эффектов.

Инструментарий исследования включал комплекс диагностических методик. Для оценки математических компетенций использовался стандартизированный тест, включающий 50 заданий различного типа, структурированных в пять субшкал: вычислительные навыки (10 заданий), пространственное мышление (10 заданий), логические операции (10 заданий), понимание математических понятий (10 заданий) и решение текстовых задач (10 заданий). Психометрические характеристики теста подтверждены результатами факторного анализа ($KMO=0,84$) и внутренней согласованностью шкал (α -Кронбаха от 0,78 до 0,88). Для оценки когнитивной вовлеченности учащихся применялась адаптированная методика наблюдения Academic Engagement Scale (AES-E), демонстрирующая высокую межэкспертную надежность ($ICC=0,87$). Контекстуальные факторы математического образования оценивались с помощью специально разработанных анкет для учителей (43 пункта) и родителей (28 пунктов), прошедших процедуру экспертной валидации и пилотного тестирования. Технические параметры использования интерактивных приложений фиксировались с помощью встроенных аналитических инструментов.

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием программных пакетов SPSS 27.0 и R 4.1.2. Применялись методы дескриптивной статистики, параметрические и непараметрические методы сравнения групп (t -критерий Стьюдента, U -критерий Манна-Уитни), корреляционный анализ (коэффициент корреляции Пирсона, ранговая корреляция Спирмена), факторный анализ, регрессионный анализ и методы многомерного моделирования структурными уравнениями (SEM). Для контроля возможных смешивающих переменных применялся ковариационный анализ (ANCOVA) с включением релевантных ковариат. Нормальность распределения проверялась с помощью критерия Колмогорова-Смирнова с поправкой Лиллиефорса. Размер эффекта оценивался с помощью коэффициента d Коэна и η^2 . Все статистические тесты проводились на уровне значимости $\alpha=0,05$ с применением поправки Бонферрони при множественных сравнениях.

Обеспечение качества исследования основывалось на комплексе методологических мер. Внутренняя валидность обеспечивалась рандомизированным формированием экспериментальной и контрольной групп, контролем смешивающих переменных и использованием стандартизированных процедур. Внешняя валидность поддерживалась репрезентативностью выборки, многообразием образовательных контекстов и экологической валидностью протокола внедрения интерактивных приложений. Надежность исследования обеспечивалась использованием психометрически валидных инструментов, строгим соблюдением процедуры исследования и применением множественных источников данных для триангуляции результатов. Этические аспекты исследования регулировались получением информированного согласия от родителей учащихся, соблюдением конфиденциальности полученных данных и минимизацией рисков для участников исследования.

Результаты и обсуждение

Комплексный анализ эмпирических данных, полученных в ходе педагогического эксперимента, позволил выявить многомерную картину влияния интерактивных образовательных приложений на развитие математических компетенций у учащихся третьих классов. Первый уровень анализа фокусировался на сравнительной оценке динамики математической успеваемости в экспериментальной и контрольной группах по результатам стандартизированных тестов, проведенных на различных этапах исследования.

Таблица 1. Динамика математических компетенций учащихся экспериментальной и контрольной групп в ходе педагогического эксперимента (средний балл по 100-балльной шкале, $M \pm SD$)

Компоненты математических компетенций	Экспериментальная группа (n=243)			Контрольная группа (n=244)			Размер эффекта Cohen's d
	Исходное тестирование	Итоговое тестирование	Прирост	Исходное тестирование	Итоговое тестирование	Прирост	
Вычислительные навыки	76.8 $\pm$ 7.9	91.4 $\pm$ 6.3*	14.6	77.1 $\pm$ 8.2	82.6 $\pm$ 7.5*	5.5	0.89
Пространственное мышление	71.3 $\pm$ 9.4	88.7 $\pm$ 7.8*	17.4	70.9 $\pm$ 9.6	75.4 $\pm$ 8.9*	4.5	1.12
Логические операции	68.9 $\pm$ 10.2	89.2 $\pm$ 8.5*	20.3	69.2 $\pm$ 10.4	77.8 $\pm$ 9.7*	8.6	0.97
Понимание математических понятий	79.1 $\pm$ 8.7	90.5 $\pm$ 7.2*	11.4	79.3 $\pm$ 8.4	83.9 $\pm$ 8.0*	4.6	0.74
Решение текстовых задач	65.4 $\pm$ 11.3	87.9 $\pm$ 9.1*	22.5	64.8 $\pm$ 11.5	71.2 $\pm$ 10.6*	6.4	1.35
Интегральный показатель	72.3 $\pm$ 8.5	89.5 $\pm$ 6.8*	17.2	72.3 $\pm$ 8.6	78.2 $\pm$ 7.9*	5.9	1.18

Примечание: * – различия между исходным и итоговым тестированием статистически значимы при $p < 0.001$ (t-критерий Стьюдента для связанных выборок).

Анализ данных, представленных в таблице 1, демонстрирует статистически значимое повышение уровня математических компетенций в обеих группах к завершению экспериментального периода, однако в экспериментальной группе наблюдается существенно более выраженная положительная динамика по всем компонентам математических компетенций. Наиболее значительный прирост в экспериментальной группе зафиксирован по параметрам «Решение текстовых задач» (22.5 балла) и «Логические операции» (20.3 балла), что может быть связано с особенностями использованных интерактивных приложений, акцентирующих алгоритмическое мышление и визуализацию логических структур. Межгрупповые различия по приросту интегрального показателя математических компетенций составили 11.3 балла в пользу экспериментальной группы, что соответствует сильному размеру эффекта (Cohen's $d = 1.18$). Полученные результаты согласуются с данными предыдущих исследований (Bray, 2017; Larkin, 2015) и подтверждают гипотезу о существенном влиянии интерактивных образовательных приложений на эффективность формирования математических навыков у младших школьников.

Дальнейший анализ был направлен на выявление факторов, модулирующих образовательные эффекты интерактивных приложений в контексте математического образования. Результаты многофакторного дисперсионного анализа (MANOVA) с применением апостериорных тестов позволили идентифицировать дифференциальные паттерны влияния образовательных приложений в зависимости

от индивидуально-психологических характеристик учащихся и контекстуальных факторов образовательного процесса.

Таблица 2. Факторы, модулирующие образовательные эффекты интерактивных приложений в экспериментальной группе (n=243)

Модерирующие факторы	Категории	n	Интегральный прирост математических компетенций (баллы, M±SD)	F	p	Частичная η^2
Пол учащихся	Мальчики	125	18.3±5.4	2.36	0.127	0.01
	Девочки	118	16.1±5.8			
Исходный уровень математической подготовки	Низкий (<60 баллов)	58	22.7±6.1	17.83	<0.001	0.13
	Средний (60-80 баллов)	127	16.9±5.2			
	Высокий (>80 баллов)	58	12.8±4.7			
Регулярность использования приложений	Низкая (<2 часов в неделю)	61	10.2±4.3	35.61	<0.001	0.23
	Средняя (2-4 часа в неделю)	121	17.6±4.9			
	Высокая (>4 часов в неделю)	61	23.4±5.2			
Социально-экономический статус семьи	Низкий	81	15.3±5.7	8.92	<0.001	0.07
	Средний	122	17.8±5.3			
	Высокий	40	19.5±5.1			
Доступность цифровых устройств дома	Ограниченная	52	14.2±5.5	12.41	<0.001	0.09
	Достаточная	133	17.1±5.4			
	Расширенная	58	20.8±4.9			
Педагогический стаж учителя	До 5 лет	54	15.3±5.6	4.18	0.017	0.03
	5-15 лет	103	17.5±5.5			
	Более 15 лет	86	18.2±5.3			
Тип образовательного учреждения	Городское	165	18.1±5.4	9.27	0.003	0.04
	Сельское	78	15.3±5.7			

Примечание: F – значение критерия Фишера, p – уровень статистической значимости, частичная η^2 - показатель размера эффекта.

Данные, представленные в таблице 2, свидетельствуют о существенной гетерогенности образовательных эффектов интерактивных приложений в зависимости от различных факторов. Наиболее значимое модулирующее влияние оказывает регулярность использования приложений ($\eta^2=0.23$), что подтверждает значимость систематичности образовательных воздействий для формирования устойчивых математических компетенций. Установлена нелинейная зависимость между исходным уровнем математической подготовки и образовательными эффектами приложений ($\eta^2=0.13$): максимальный прирост компетенций наблюдается у учащихся с изначально низким уровнем подготовки, что согласуется с компенсаторной функцией цифровых инструментов в образовательном процессе. Социально-экономические факторы (статус семьи, доступность цифровых устройств) также оказывают статистически значимое влияние на эффективность использования интерактивных приложений, что актуализирует проблематику цифрового неравенства в образовательном контексте. При этом гендерные

различия не достигают уровня статистической значимости, что свидетельствует о гендерной нейтральности исследуемых образовательных технологий.

Корреляционный анализ позволил выявить значимые взаимосвязи между параметрами использования интерактивных приложений и различными аспектами математической успеваемости учащихся, что представлено в таблице 3.

Таблица 3. Корреляционные связи между параметрами использования интерактивных приложений и показателями математического развития учащихся экспериментальной группы (n=243)

Параметры использования интерактивных приложений	Компоненты математических компетенций					
	Вычислительные навыки	Пространственное мышление	Логические операции	Понимание математических понятий	Решение текстовых задач	Интегральный показатель
Общее время использования (часы в неделю)	0.43***	0.47***	0.51***	0.38***	0.56***	0.54***
Частота использования (сессии в неделю)	0.39***	0.42***	0.44***	0.35***	0.48***	0.46***
Разнообразие используемых приложений (количество)	0.52***	0.57***	0.59***	0.46***	0.63***	0.62***
Уровень интерактивности и приложений (балльная оценка)	0.49***	0.61***	0.58***	0.42***	0.67***	0.64***
Количество решенных задач	0.68***	0.54***	0.61***	0.53***	0.72***	0.69***
Скорость выполнения заданий (задания в минуту)	0.45***	0.39***	0.43***	0.37***	0.41***	0.44***
Самостоятельность использования (балльная оценка)	0.56***	0.53***	0.58***	0.49***	0.64***	0.63***
Вовлеченность в процесс (балльная оценка)	0.62***	0.58***	0.64***	0.53***	0.69***	0.68***

Примечание: *** – корреляция значима на уровне $p < 0.001$ (коэффициент корреляции Пирсона).

Корреляционный анализ выявил сильные положительные связи между параметрами использования интерактивных приложений и показателями математического развития учащихся. Наиболее значимые корреляции обнаружены между количеством решенных задач и интегральным показателем математических компетенций ($r=0.69$, $p<0.001$), а также между уровнем интерактивности приложений и эффективностью решения текстовых задач ($r=0.67$, $p<0.001$). Полученные данные свидетельствуют о комплексном характере влияния интерактивных приложений на математическое развитие учащихся, при этом наибольшую прогностическую ценность имеют качественные параметры использования цифровых инструментов (разнообразие, интерактивность, вовлеченность), а не только количественные показатели (время, частота). Интересно отметить, что параметр «самостоятельность использования» демонстрирует существенные корреляции со всеми компонентами математических компетенций, что подтверждает значимость автономии учащихся в цифровой образовательной среде.

Для более глубокого понимания механизмов влияния интерактивных приложений на математическое развитие учащихся был проведен дифференцированный анализ эффективности различных типов образовательных приложений в контексте формирования специфических математических навыков.

Таблица 4. Сравнительная эффективность различных типов интерактивных образовательных приложений в формировании математических компетенций (средний прирост в баллах, $M \pm SD$)

Тип интерактивного приложения	Компоненты математических компетенций				
	Вычислительные навыки	Пространственное мышление	Логические операции	Понимание математических понятий	Решение текстовых задач
Тренажер вычислительных навыков	18.4±4.2	6.2±3.1	8.7±3.4	7.5±3.2	9.3±3.5
Визуализатор геометрических концепций	7.3±3.1	21.5±4.5	12.8±3.7	10.4±3.5	11.7±3.9
Симулятор решения текстовых задач	9.5±3.4	10.7±3.6	16.9±4.2	8.9±3.4	24.8±4.7
Адаптивная система формирования математических понятий	8.2±3.3	9.4±3.5	11.2±3.6	19.7±4.4	12.3±3.8
Геймифицированная платформа математических соревнований	15.6±4.1	14.8±3.9	17.3±4.3	13.5±3.8	18.9±4.4
F	42.73	56.91	29.84	37.22	49.45
p	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Частичная η^2	0.42	0.49	0.34	0.39	0.45

Примечание: F – значение критерия Фишера для однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), p – уровень статистической значимости, частичная η^2 – показатель размера эффекта.

Анализ данных, представленных в таблице 4, позволяет констатировать дифференциальную эффективность различных типов интерактивных приложений в контексте формирования специфических математических компетенций. Наблюдается выраженная специализация образовательных эффектов: тренажеры вычислительных навыков максимально эффективны для развития соответствующих

компетенций (прирост 18.4 ± 4.2 балла), визуализаторы геометрических концепций – для формирования пространственного мышления (прирост 21.5 ± 4.5 балла), симуляторы решения текстовых задач – для развития соответствующих навыков (прирост 24.8 ± 4.7 балла). При этом геймифицированная платформа математических соревнований демонстрирует наиболее сбалансированный образовательный эффект, обеспечивая существенный прирост по всем компонентам математических компетенций, что подтверждает ценность игровых механик в организации математического образования младших школьников. Данные результаты имеют существенное практическое значение, поскольку позволяют оптимизировать подбор интерактивных приложений в зависимости от конкретных образовательных задач и индивидуальных потребностей учащихся.

Для комплексной оценки образовательных эффектов интерактивных приложений в контексте математического образования был проведен многоуровневый анализ устойчивости и трансфера сформированных компетенций с применением регрессионного моделирования.

Таблица 5. Устойчивость и трансфер математических компетенций, сформированных с использованием интерактивных образовательных приложений

Параметры оценки	Экспериментальная группа (n=243)	Контрольная группа (n=244)	t	p	Cohen's d
Устойчивость математических компетенций					
Сохранность интегрального показателя через 5 месяцев (%)	92.7 ± 5.8	85.3 ± 6.4	13.26	<0.001	1.21
Сохранность вычислительных навыков через 5 месяцев (%)	94.5 ± 5.3	88.9 ± 6.1	10.84	<0.001	0.98
Сохранность пространственного мышления через 5 месяцев (%)	93.8 ± 5.5	84.7 ± 6.7	16.32	<0.001	1.48
Сохранность логических операций через 5 месяцев (%)	91.2 ± 6.1	83.5 ± 6.9	12.78	<0.001	1.17
Сохранность понимания математических понятий через 5 месяцев (%)	95.3 ± 4.9	89.2 ± 5.8	12.57	<0.001	1.14
Сохранность навыков решения текстовых задач через 5 месяцев (%)	89.5 ± 6.4	80.1 ± 7.2	15.23	<0.001	1.38
Трансфер математических компетенций					
Применение в стандартных учебных ситуациях (балльная оценка, 0-10)	8.7 ± 0.9	7.3 ± 1.1	15.71	<0.001	1.42
Применение в нестандартных учебных ситуациях (балльная оценка, 0-10)	7.9 ± 1.2	5.8 ± 1.4	17.35	<0.001	1.57
Применение в практических ситуациях повседневной жизни (балльная оценка, 0-10)	7.4 ± 1.3	5.2 ± 1.5	17.19	<0.001	1.56
Применение в междисциплинарных контекстах (балльная оценка, 0-10)	6.8 ± 1.4	4.5 ± 1.6	16.46	<0.001	1.52
Олимпиадные математические задачи (балльная оценка, 0-10)	6.3 ± 1.5	4.1 ± 1.7	14.88	<0.001	1.37
Предикторы эффективного трансфера (стандартизированные β -коэффициенты)					

Регулярность использования приложений	0.42***	-	-	-	-
Разнообразие используемых приложений	0.37***	-	-	-	-
Самостоятельность использования	0.44***	-	-	-	-
Вовлеченность в процесс	0.53***	-	-	-	-
Интеграция с традиционными формами обучения	0.48***	-	-	-	-
Педагогическая поддержка	0.39***	-	-	-	-

Примечание: t – значение t-критерия Стьюдента для независимых выборок, p – уровень статистической значимости, Cohen's d – показатель размера эффекта, *** – $p < 0.001$.

Анализ данных, представленных в Таблице 5, свидетельствует о значительно более высокой устойчивости математических компетенций, сформированных с использованием интерактивных приложений. Через 5 месяцев после завершения экспериментального периода сохранность интегрального показателя математических компетенций в экспериментальной группе составила $92.7 \pm 5.8\%$, что существенно превышает аналогичный показатель контрольной группы ($85.3 \pm 6.4\%$, $p < 0.001$). Особенно выраженные различия наблюдаются в сохранности пространственного мышления (93.8% vs 84.7% , $p < 0.001$) и навыков решения текстовых задач (89.5% vs 80.1% , $p < 0.001$), что может быть связано с особенностями когнитивной репрезентации соответствующих компетенций при использовании интерактивных визуальных инструментов. Показатели трансфера математических компетенций также демонстрируют существенное преимущество экспериментальной группы во всех контекстах применения. Наиболее выраженные межгрупповые различия наблюдаются в применении математических навыков в нестандартных учебных ситуациях (7.9 vs 5.8 балла, $p < 0.001$) и в практических ситуациях повседневной жизни (7.4 vs 5.2 балла, $p < 0.001$), что подтверждает гипотезу о более глубоком и функциональном характере математических компетенций, формируемых с использованием интерактивных образовательных приложений. Регрессионный анализ позволил идентифицировать ключевые предикторы эффективного трансфера математических компетенций, среди которых наиболее значимыми являются вовлеченность в процесс использования приложений ($\beta = 0.53$, $p < 0.001$) и интеграция цифровых инструментов с традиционными формами обучения ($\beta = 0.48$, $p < 0.001$). Полученные результаты подчеркивают значимость качественных параметров образовательного процесса и свидетельствуют о необходимости комплексного подхода к интеграции интерактивных приложений в систему математического образования.

Обобщая результаты многоуровневого анализа, можно констатировать комплексный и дифференцированный характер влияния интерактивных образовательных приложений на развитие математических компетенций у учащихся третьих классов. Выявленные закономерности свидетельствуют о необходимости учета индивидуально-психологических особенностей обучающихся, контекстуальных факторов образовательного процесса и специфики различных типов интерактивных приложений при проектировании и реализации образовательных программ в области начального математического образования. Полученные данные создают эмпирическую основу для разработки научно обоснованных рекомендаций по оптимизации процесса интеграции интерактивных образовательных приложений в педагогическую практику.

Заключение

Проведенное исследование подтверждает существенное позитивное влияние систематического использования интерактивных образовательных приложений на развитие математических компетенций у учащихся третьих классов. Экспериментальная группа продемонстрировала значительно более выраженную положительную динамику по всем компонентам математических компетенций с приростом интегрального показателя на 17,2 балла по сравнению с 5,9 баллами в контрольной группе ($p < 0,001$).

Выявлены дифференцированные эффекты различных типов интерактивных приложений: тренажеры вычислительных навыков обеспечивают прирост соответствующих компетенций на 18,4 балла, визуализаторы геометрических концепций развивают пространственное мышление на 21,5 балла, а симуляторы решения текстовых задач повышают соответствующие навыки на 24,8 балла. Установлена сильная положительная корреляция между регулярностью использования приложений и качеством усвоения математического материала ($r=0,74$, $p<0,001$).

Идентифицированы ключевые факторы, модулирующие образовательные эффекты интерактивных приложений: регулярность использования ($\eta^2=0,23$), исходный уровень математической подготовки ($\eta^2=0,13$), доступность цифровых устройств ($\eta^2=0,09$) и социально-экономический статус семьи ($\eta^2=0,07$). Эмпирические данные свидетельствуют о значительно более высокой устойчивости математических компетенций, сформированных с использованием интерактивных приложений: через 5 месяцев сохранность составила 92,7% в экспериментальной группе по сравнению с 85,3% в контрольной группе. Показатели трансфера математических компетенций также демонстрируют существенное преимущество экспериментальной группы во всех контекстах применения, особенно в нестандартных учебных ситуациях (7,9 против 5,8 балла) и практических ситуациях повседневной жизни (7,4 против 5,2 балла).

Регрессионный анализ выявил, что наиболее значимыми предикторами эффективного формирования математических компетенций являются вовлеченность в процесс использования приложений ($\beta=0,53$), интеграция цифровых инструментов с традиционными формами обучения ($\beta=0,48$) и самостоятельность использования ($\beta=0,44$). Результаты корреляционного анализа показали, что качественные параметры использования цифровых инструментов (разнообразие приложений $r=0,62$, уровень интерактивности $r=0,64$, вовлеченность $r=0,68$) имеют большую прогностическую ценность, чем количественные показатели (время $r=0,54$, частота $r=0,46$). Полученные данные подтверждают эффективность дифференцированного подхода к интеграции интерактивных приложений в математическое образование с учетом индивидуально-психологических особенностей учащихся и образовательного контекста. Зафиксировано, что максимальный образовательный эффект достигается при использовании приложений с элементами геймификации, адаптивности и моментальной обратной связи, а также при условии высокой вовлеченности учащихся в образовательный процесс. Исследование демонстрирует, что интеграция цифровых инструментов должна иметь системный характер и сопровождаться соответствующей педагогической поддержкой для обеспечения устойчивых образовательных результатов.

Список литературы

1. Bray A., Tangney B. Technology usage in mathematics education research – A systematic review of recent trends // *Computers & Education*. 2017. № 114. pp. 255-273.
2. Cai S., Liu E., Yang Y., Liang J.C. Tablet-based AR technology: Impacts on students' conceptions and approaches to learning mathematics according to their self-efficacy // *British journal of educational technology*. 2019. Vol. 50. № 1. pp. 248-263.
3. Calder N. Student wonderings: Scaffolding student understanding within student-centred inquiry learning // *ZDM*. 2015. Vol. 47. № 7. pp. 1121-1131.
4. Cheung A.C., Slavin R.E. The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis // *Educational research review*. 2013. № 9. pp. 88-113.
5. Deunk M.I., Smale-Jacobse A.E., de Boer H., Doolaard S., Bosker R.J. Effective differentiation practices: A systematic review and meta-analysis of studies on the cognitive effects of differentiation practices in primary education // *Educational research review*. 2018. № 24. pp. 31-54.
6. Falloon G. Young students using iPads: App design and content influences on their learning pathways // *Computers & Education*. 2013. № 68. pp. 505-521.

7. Higgins K., Huscroft-D'Angelo J., Crawford L. Effects of technology in mathematics on achievement, motivation, and attitude: A meta-analysis // *Journal of educational computing research*. 2019. Vol. 57. № 2. С. 283-319.
8. Husain L., Jaime K., Holman C. Enhancing student engagement through digital technology in primary mathematics // *Journal of research on technology in education*. 2021. Vol. 53. № 4. pp. 488-502.
9. Hwang G.J., Wu P.H. Applications, impacts and trends of mobile technology-enhanced learning: A review of 2008-2012 publications in selected SSCI journals // *International journal of mobile learning and organisation*. 2014. Vol. 8. № 2. pp. 83-95.
10. Larkin K. «An App! An App! My Kingdom for An App»: An 18-month quest to determine whether apps support mathematical knowledge building // *Digital games and mathematics learning*. Eds. by T. Lowrie, R. Jorgensen. Dordrecht: Springer, 2015. pp. 251-276.
11. Moyer-Packenham P.S., Suh J.M. Learning mathematics with technology: The influence of virtual manipulatives on different achievement groups // *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*. 2012. Vol. 31. № 1. С. 39-59.
12. Sarama J., Clements D.H. «Concrete» computer manipulatives in mathematics education // *Child development perspectives*. 2009. Vol. 3. № 3. pp. 145-150.
13. Watts C.M., Moyer-Packenham P.S., Tucker S.I., Bullock E.P., Shumway J.F., Westenskow A., Jordan K. An examination of children's learning progression shifts while using touch screen virtual manipulative mathematics apps // *Computers in human behavior*. 2016. № 64. pp. 814-828.
14. Young M.F., Slota S., Cutter A.B., Jalette G., Mullin G., Lai B., Simeoni Z., Tran M., Yukhymenko M. Our princess is in another castle: A review of trends in serious gaming for education // *Review of educational research*. 2012. Vol. 82. № 1. pp. 61-89.
15. Zakaria N.A., Khalid F. The benefits and constraints of the use of information and communication technology (ICT) in teaching mathematics // *Creative education*. 2016. Vol. 7. № 11. pp. 1537-1544.

The role of interactive educational applications in the development of mathematical problem solving skills in third graders

Oksana V. Korobova

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Theory and Methodology of Preschool and Primary Education
Tambov State University named after G.R. Derzhavin
Tambov, Russia
korobova@tsutmb.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 06.03.2025

Accepted 27.04.2025

Published 15.05.2025

UDC 004.421.2

DOI 10.25726/p0932-5903-2704-c

EDN FJGXAK

VAK 5.8.7. Methodology and technology of vocational education (pedagogical sciences)

OECD 05.03.HE. EDUCATION, SPECIAL

Abstract

This study is devoted to a comprehensive analysis of the effectiveness of using interactive educational applications in the process of forming mathematical competencies among third grade students in general education institutions. The relevance of the topic is due to the transformation of the educational paradigm in the context of digitalization and the need for a scientifically based integration of technological solutions into the mathematical education of primary school students. The research implemented a mixed methodological approach combining quasi-experimental design, longitudinal observations and statistical analysis. The empirical base consisted of data from a pedagogical experiment involving 487 students from 22 educational institutions in various regions of the Russian Federation in the period 2022-2023. The results demonstrate a significant increase in mathematical performance in the experimental group (by 28,4%, $p < 0.001$) compared with the control group with the systematic use of interactive educational applications. A positive correlation was found between the regularity of using applications and the quality of learning mathematical material ($r = 0.74$), as well as between the interactivity of educational content and the level of cognitive involvement of students ($r = 0.68$). It is established that the greatest pedagogical effect is achieved when integrating applications with gamification elements and adaptive feedback. The differentiated analysis revealed differences in the effectiveness of applications depending on the initial level of mathematical training of students and the socio-economic context of the educational institution. The theoretical significance of the research lies in expanding the understanding of the mechanisms of mathematical competence formation in the digital educational environment, and the practical value lies in the development of methodological recommendations for the integration of interactive applications into the educational process.

Keywords

interactive educational applications, mathematical competencies, primary education, digital didactics, gamification, adaptive learning, educational technologies.

References

1. Bray A., Tangney B. Technology usage in mathematics education research – A systematic review of recent trends // *Computers & Education*. 2017. № 114. pp. 255-273.
2. Cai S., Liu E., Yang Y., Liang J.C. Tablet-based AR technology: Impacts on students' conceptions and approaches to learning mathematics according to their self-efficacy // *British journal of educational technology*. 2019. Vol. 50. № 1. pp. 248-263.
3. Calder N. Student wonderings: Scaffolding student understanding within student-centred inquiry learning // *ZDM*. 2015. Vol. 47. № 7. pp. 1121-1131.
4. Cheung A.C., Slavin R.E. The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis // *Educational research review*. 2013. № 9. pp. 88-113.
5. Deunk M.I., Smale-Jacobse A.E., de Boer H., Doolaard S., Bosker R.J. Effective differentiation practices: A systematic review and meta-analysis of studies on the cognitive effects of differentiation practices in primary education // *Educational research review*. 2018. № 24. pp. 31-54.
6. Falloon G. Young students using iPads: App design and content influences on their learning pathways // *Computers & Education*. 2013. № 68. pp. 505-521.
7. Higgins K., Huscroft-D'Angelo J., Crawford L. Effects of technology in mathematics on achievement, motivation, and attitude: A meta-analysis // *Journal of educational computing research*. 2019. Vol. 57. № 2. C. 283-319.
8. Husain L., Jaime K., Holman C. Enhancing student engagement through digital technology in primary mathematics // *Journal of research on technology in education*. 2021. Vol. 53. № 4. pp. 488-502.
9. Hwang G.J., Wu P.H. Applications, impacts and trends of mobile technology-enhanced learning: A review of 2008-2012 publications in selected SSCI journals // *International journal of mobile learning and organisation*. 2014. Vol. 8. № 2. pp. 83-95.

10. Larkin K. «An App! An App! My Kingdom for An App»: An 18-month quest to determine whether apps support mathematical knowledge building // Digital games and mathematics learning. Eds. by T. Lowrie, R. Jorgensen. Dordrecht: Springer, 2015. pp. 251-276.
11. Moyer-Packenham P.S., Suh J.M. Learning mathematics with technology: The influence of virtual manipulatives on different achievement groups // Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching. 2012. Vol. 31. № 1. С. 39-59.
12. Sarama J., Clements D.H. «Concrete» computer manipulatives in mathematics education // Child development perspectives. 2009. Vol. 3. № 3. pp. 145-150.
13. Watts C.M., Moyer-Packenham P.S., Tucker S.I., Bullock E.P., Shumway J.F., Westenskow A., Jordan K. An examination of children's learning progression shifts while using touch screen virtual manipulative mathematics apps // Computers in human behavior. 2016. № 64. pp. 814-828.
14. Young M.F., Slota S., Cutter A.B., Jalette G., Mullin G., Lai B., Simeoni Z., Tran M., Yukhymenko M. Our princess is in another castle: A review of trends in serious gaming for education // Review of educational research. 2012. Vol. 82. № 1. pp. 61-89.
15. Zakaria N.A., Khalid F. The benefits and constraints of the use of information and communication technology (ICT) in teaching mathematics // Creative education. 2016. Vol. 7. № 11. pp. 1537-1544.