

УДК 004.891.2  
МРНТИ 28.23.29

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2026-23-1-94-106>

**<sup>1\*</sup>Шапорева А.В.,**

PhD, доцент, ORCID ID: 0000-0002-6211-5634,

\*e-mail: annvolkova@mail.ru

**<sup>1</sup>Копнова О.Л.,**

PhD, ORCID ID: 0000-0002-6299-3728,

e-mail: okopnova@ku.edu.kz

**<sup>2</sup>Шевчук Е.В.,**

канд. техн. наук, доцент, ORCID ID: 0000-0002-1206-3960,

e-mail: evshevch@mail.ru

**<sup>3</sup>Абдулла Л.Н.,**

PhD, ассоц. профессор, ORCID ID: 0000-0001-8704-2390,

e-mail: liyana@upm.edu.my

**<sup>1</sup>Икласова К.Е.,**

PhD, доцент, ORCID ID: 0000-0002-8330-4282,

e-mail: kiklasova@mail.ru

**<sup>1</sup>Айтымова А.М.,**

PhD, ORCID ID: 0000-0003-1128-6924,

e-mail: amakasheva@ku.edu.kz

<sup>1</sup>Северо-Казахстанский университет им. Манаша Козыбаева,  
г. Петропавловск, Казахстан

<sup>2</sup>Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Россия

<sup>3</sup>Университет Путра, UPM, Серданг Селангор, Малайзия

## **РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА РУКОПИСНОГО ВВОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ГРАФОМОТОРНЫХ НАВЫКОВ**

### **Аннотация**

Современные тенденции цифровизации образования способствуют активному внедрению цифровых технологий в процесс обучения письму, особенно на дошкольном этапе. В статье представлена интеллектуальная система анализа формирования графомоторных навыков у детей дошкольного возраста на основе математического моделирования ошибок при написании букв с использованием сенсорных устройств. Цель исследования – разработка и апробация математической модели оценки графомоторных ошибок, позволяющей выявлять и анализировать типовые отклонения от эталона при выполнении заданий в цифровом приложении «Ловкие пальчики». В основе модели лежит сравнение пользовательской траектории с эталонной, представленной в виде кусочно-линейных функций. Для повышения точности анализа применяется сглаживание с использованием сплайна Кэтмулл-Рома. Предложена система метрик: отклонение формы, угловое отклонение, смещение начальной/конечной точек и метрика подобия (расстояние Фреше). Эти параметры формируют интегральную оценку качества выполнения задания. Приложение автоматически генерирует отчеты и графики прогресса для педагогов и родителей, а также предоставляет рекомендации по корректирующим мерам. Разработанный интерфейс визуализирует ошибки, формирует рекомендации и фиксирует прогресс. Такой подход значительно расширяет возможности диагностики и коррекции навыков письма, дополняя традиционные методы наблюдения педагогов. Таким образом, интеллектуальное электронное приложение «Ловкие пальчики» представляет собой эффективный инструмент цифровой педагогической диагностики, способствующий раннему выявлению нарушений письма и повышению готовности дошкольников к школьному обучению.

**Ключевые слова:** цифровое обучение письму, графомоторные навыки, математическое моделирование, сплайн Кэтмулл-Рома, диагностика письма, адаптивное обучение.

## Введение

Цифровое обучение письму и анализ письма на устройстве – это перспективное направление, сочетающее педагогику, нейротехнологии, искусственный интеллект и цифровые интерфейсы.

Большое внимание в научной литературе уделено оценке развития графомоторных навыков дошкольников с помощью цифровых устройств. В статье [1] рассматривается платформа на базе планшета, разработанная для количественной оценки графомоторных навыков, ориентированная как на скорость движения пера, так и на качество вывода графики. В статье [2] представлено исследование развития почерка и мелкой моторики у дошкольников с помощью цифровых устройств и анализ влияния почерка на успехи в учебе.

В статье [3] обсуждается экспериментальное исследование, в ходе которого тестируется инновационное тактильное устройство, предназначенное для анализа графомоторных показателей и координации движений в режиме реального времени. В статье [4] обсуждается оригинальный подход к диагностике графомоторных нарушений с помощью объективного анализа рукописного текста в Интернете. В ней представлена «Шкала оценки графомоторных нарушений и нарушений почерка» (GHDRS), которая позволяет детально оценить трудности детей с письмом. В статье [5] обсуждается оценка графомоторных навыков у дошкольников и учащихся начальной школы с использованием графических планшетов. В статье [6] представлен анализ графомоторных навыков с помощью графических планшетов, в котором основное внимание уделяется инструменту предварительной диагностики дисграфии.

В [7] представлена модель управления информационными процессами в информационно-образовательной среде организаций дошкольного образования. Внедрение разработанной модели позволило уменьшить затраты времени на корректировку индивидуальной работы с обучающимися на 30% за счет автоматизации хранения, обработки и анализа данных о дошкольниках.

В [8] представлена информационная система оценки качества усвоения компетенций детей дошкольного возраста на основе онтологического подхода. Предложенный в статье метод интеграции данных существенно облегчил процесс анализа данных как по группе, так и по отдельному респонденту.

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что разработка моделей, методов и алгоритмов ранней диагностики графомоторных навыков дошкольников при обучении письму с помощью цифровых устройств поможет своевременно подобрать корректирующие задания, что положительно скажется на подготовке к школе.

Цель исследования заключается в обосновании и апробации разработанной математической модели анализа ошибок при цифровом обучении письму.

Научную новизну исследования представляет разработанная методика количественной и качественной оценки графомоторных навыков с системой критериев, интегрированной в программную среду с возможностью визуализации и ориентированную на педагогическую интерпретацию результатов.

## Материалы и методы

Для анализа и коррекции графомоторных навыков было разработано интеллектуальное электронное приложение «Ловкие пальчики», в котором дети выполняли задания по написанию букв и элементов письма «Дорожки». Для мотивации детей графическая часть приложения в заданиях «Дорожки» содержит изображения животных: мышки, обезьяны, медведя, бабочки, кролика и котенка. Во время выполнения заданий дети допускали ошибки при написании букв и «Дорожек». Примеры выполнения заданий в приложении «Ловкие пальчики» представлены на рисунке 1.

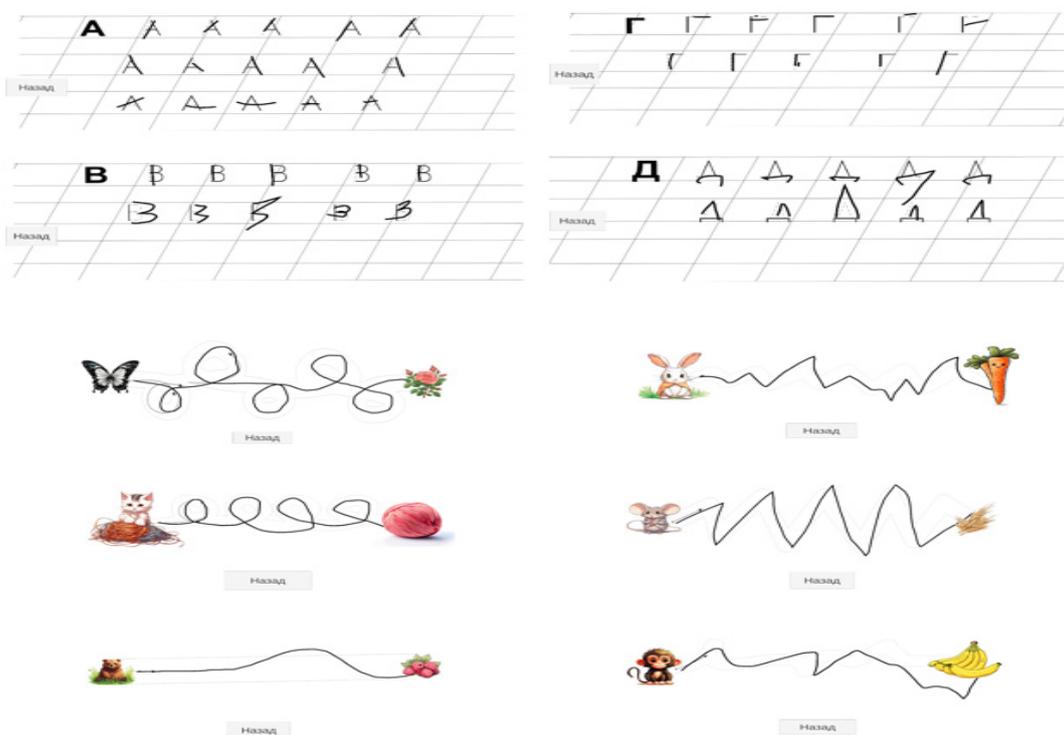


Рисунок 1– Примеры выполнения заданий в приложении  
«Ловкие пальчики»

Одной из важных задач является анализ ошибок, которые допускают дети во время цифрового обучения письму, т.к. данный анализ поможет подобрать задания для коррекции навыков письма. Анализ ошибок заключается в сравнении траектории, нарисованной ребенком (кусочно-линейной функции), с эталонной траекторией. Для разработки математической модели анализа ошибок и создания эталонов букв и элементов письма были использованы источники [9–12].

Входные данные:

1. Траектория ребенка: пользовательский ввод, данные одного касания преобразуются в массив точек по формуле (1):

$$P_{\text{user\_raw\_input}} = \{\text{point}_i = (x_i, y_i, t_i, \text{event\_type}_i) | i=1 \dots K\}, \quad (1)$$

где:  $(x_i, y_i)$  – координаты точки касания;

$t_i$  – временная метка точки, полученных с сенсорного экрана;

$\text{event\_type}_i$  – тип события (DOWN, MOVE, UP);

Эта траектория уже является кусочно-линейной функцией.

2. Сегментированный пользовательский штрих: после сегментации (например, по событиям UP),  $k$ -й пользовательский штрих представляет собой последовательность точек:  $S_{\text{user}}^{(k)} = \{u_j = (x_j, y_j, t_j) | j=1 \dots n_k\}$ . Каждый  $S_{\text{user}}^{(k)}$  является кусочно-линейной функцией.

3. Эталонная буква  $L_{\text{target}}$ : представлена как набор эталонных штрихов:  $L_{\text{etalon}} = \{S_{\text{etalon}}^{(s)} | s=1 \dots M_L\}$ , где  $M_L$  – количество штрихов в эталоне буквы  $L_{\text{target}}$ . Каждый эталонный штрих  $S_{\text{etalon}}(s) = \{v_l = (x_l, y_l) | l=1 \dots m_s\}$ . Дополнительные атрибуты для  $S_{\text{etalon}}^{(s)}$ :

$\text{Order}_s$ : порядковый номер выполнения штриха.

$\text{Direction}_s$ : ожидаемое направление (может быть представлено как вектор от  $v_1$  до  $v_{m_s}$  или через ключевые точки).

4. Оператор нормализации N:  $S_{user}' = N(S_{user}(k), W_{norm}, H_{norm})$ , где  $S_{user}'$  – нормализованный пользовательский штрих, приведенный к стандартному размеру ( $W_{norm}, H_{norm}$ ) и началу отсчета. Аналогично для эталонных штрихов, если они не предопределены в нормализованном виде:  $S_{etalon}' = N(S_{etalon}(s), W_{norm}, H_{norm})$ .

5. Оператор сглаживания S (например, сплайн Кэтмулл-Рома):  $S_{user\_smooth}^{(k)} = S(S_{user}')$ , где  $S_{user\_smooth}^{(k)}$  – сглаженная версия нормализованного пользовательского штриха. Для сегмента кривой C(t) между точками  $U_i$  и  $U_{i+1}$  (из  $S_{user}'$ ), используя контрольные точки  $U_{i-1}, U_i, U_{i+1}, U_{i+2}$ :  $C(t) = T(t)M_{CR}P_{geom}$ , где:

$$T(t) = [t^3 \ t^2 \ t^1 \ 1]^T$$

$M_{CR}$  – базисная матрица Кэтмулл-Рома (например, для  $t_{ension} = 0$ ), (2):

$$C(t) = 0.5 \cdot (1 \ t \ t^2 \ t^3) \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 \\ -\tau & 0 & \tau & 0 \\ 2\tau & \tau - 6 & 6 - 2\tau & -\tau \\ -\tau & 4 - \tau & \tau - 4 & \tau \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{i-1} \\ P_i \\ P_{i+1} \\ P_{i+2} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$P_{geom} = [U_{i-1} \ U_i \ U_{i+1} \ U_{i+2}]^T$  (вектор-столбец контрольных точек).

Таким образом, общий вид оператора сглаживания будет иметь следующий вид (3):

$$C(t) = 0.5 \cdot (1 \ t \ t^2 \ t^3) \begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 \\ -\tau & 0 & \tau & 0 \\ 2\tau & \tau - 6 & 6 - 2\tau & -\tau \\ -\tau & 4 - \tau & \tau - 4 & \tau \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_{i-1} \\ P_i \\ P_{i+1} \\ P_{i+2} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где  $\tau$  – параметр натяжения.

6. Метрики отклонения (для сопоставленных штрихов  $S_{user\_smooth}^{(k)}$  и  $S_{etalon}^{(s)}$ ):

Отклонение формы  $\Delta_{shape}$ :

Среднее минимальное расстояние от точек  $S_{user\_smooth}^{(k)}$  до сегментов  $S_{etalon}^{(s)}$  (4):

$$\bar{d}(S_{user\_smooth}^{(k)}, S'_{etalon}^{(s)}) = \frac{1}{|S_{user\_smooth}^{(k)}|} \sum_{u \in S_{user\_smooth}^{(k)}} \min_j d(u, segment_j(S'_{etalon}^{(s)})) \quad (4)$$

где  $d(u, segment)$  – евклидово расстояние от точки  $u$  до отрезка  $segment$ .

Угловое отклонение  $\Delta_{angle}$ : Сравнение углов между соответствующими сегментами  $S_{user\_smooth}^{(k)}$  и  $S'_{etalon}^{(s)}$  (5):

$$\Delta\theta = \frac{1}{N_{seg} - 1} \sum_{i=1}^{N_{seg} - 1} |\theta_{user,i} - \theta_{etalon,i}|, \quad (5)$$

где  $\theta_i$  – угол  $i$ -го сегмента относительно предыдущего.

Отклонение начальной/конечной точки  $\Delta_{endpoints}$  (6):

$$d_{start} = \|u_1 - v_1\|_2; \quad d_{end} = \|u_{n_k} - v_{m_s}\|_2. \quad (6)$$

Метрика подобия кривых  $\Delta_{similarity}$  (например, Расстояние Фреше) (7):

$$F(S_{user\_smooth}^{(k)}, S'_{etalon}^{(s)}). \quad (7)$$

Оценка количества ошибок  $e_i$  для  $i$ -й буквы (на основе комплексного анализа) (8):

$$e_i = f(N_{strokes\_diff}^i, O_{errors}^i, D_{errors}^i, \sum_k w_{shape}^{(k)} \Delta_{shape}^{(k,s)}, \sum_k w_{angle}^{(k)} \Delta_{angle}^{(k,s)}, \dots), \quad (8)$$

где:  $N_{strokes\_diff}^i$  – разница в количестве штрихов для  $i$ -й буквы.

$O_{errors}^i$  – оценка ошибок порядка выполнения штрихов.

$D_i^{\text{errors}}$  – оценка ошибок направления штрихов.

$\Delta^{(k,s)}$  – метрики отклонений для k-го пользовательского и s-го эталонного сопоставленных штрихов.

w – весовые коэффициенты для различных типов отклонений. Этот  $e_i$  соответствует ErrorCount из CSV и модели анализа

Общее время написания i-й буквы  $t_i$  (9):

$$t_i = \sum_k t_{\text{end}}^{(k)} - t_{\text{start}}^{(k)}, \quad (9)$$

где  $t_{\text{end}}^{(k)}$  и  $t_{\text{start}}^{(k)}$  – время начала и конца k-го штриха i-й буквы.

Входные данные формируются из последовательности точек касания, преобразуясь в полигональные цепи (кусочно-линейные функции). Для улучшения визуального качества и устранения резких углов применяется сглаживание на основе сплайна Кэтмулл-Рома, который обеспечивает гладкий переход между сегментами и устраняет визуальные изломы. Разработанный алгоритм сравнивает пользовательскую траекторию с эталонным шаблоном, оценивая отклонения по форме, порядку и направлению графических элементов.

Расчет ошибок включает разницу в количестве штрихов, ошибки порядка и направления выполнения штрихов, а также метрики отклонений для сопоставленных штрихов, с применением весовых коэффициентов для различных типов отклонений.

Для анализа написания букв необходимо создание цифрового эталона буквы или начертания. Например, для буквы «Л» это могут быть три точки: верхняя, нижняя центральная, верхняя правая. Для более сложных кривых потребуется больше точек для адекватного описания формы. В приложении была создана база эталонов букв и элементов письма, «Дорожек», в виде JSON файлов (рисунок 2).

```

{
  "letter": "A",
  "strokes": [
    {
      "order": 1,
      "points": [ {"x": 50, "y": 10}, {"x": 20, "y": 90}, {"x": 80, "y": 90} ],
      "direction_start_point_index": 0,
      "direction_end_point_index": 2
    },
    {
      "order": 2,
      "points": [ {"x": 35, "y": 50}, {"x": 65, "y": 50} ],
      "direction_start_point_index": 0,
      "direction_end_point_index": 1
    }
  ],
  "total_strokes": 2
}

```

Рисунок 2 – Пример структуры для буквы в JSON

Для количественной и качественной оценки графомоторных навыков ребенка разработана система параметров, отражающих ключевые характеристики процесса письма. Эти параметры позволяют зафиксировать и интерпретировать особенности начертания линий, обеспечивая объективную диагностику отклонений и динамики развития. В таблице 1 представлены ключевые параметры для анализа письма на основании источников [13-17].

Таблица 1 – Критерии оценки графомоторных навыков

Критерий	1 (Очень плохо)	2 (Плохо)	3 (Удовлетворительно)	4 (Хорошо)	5 (Отлично)
Процент выполнения задания	0–20%	21–40%	41–60%	61–80%	81–100%
Точность ведения линии	Линия сильно выходит за границы	Частично выходит за границы	Частые выходы за границы (около 50%)	Редкие неточности	Линия четкая и ровная, в пределах границ
Отклонение от заданной траектории	Сильные отклонения (>50%)	Заметные отклонения (30–50%)	Умеренные отклонения (10–30%)	Незначительные отклонения (<10%)	Точное следование заданной траектории
Количество попыток проведения линии	Более 5 раз	3–5 раз	2–3 раза	1–2 раза	С первой попытки
Ровность линий	Линии рваные, прерывистые	Частые рывки, неровности	В целом неровно, но узнаваемо	Почти плавные линии	Линии плавные и ровные
Контроль направления движения	Движения хаотичны, частая смена направления	Направление меняется более 3 раз	1–2 отклонения от траектории	Почти устойчивое направление	Полный контроль направления
Плавность движений	Движения резкие, дрожащие	Частые рывки	Частичная плавность	Почти полная плавность	Движения плавные и непрерывные
Контроль давления	Слишком слабое или чрезмерное нажатие	Частые перепады давления	Иногда меняется сила нажима	В целом стабильное нажатие	Давление ровное и контролируемое
Зрительно-моторная координация	Рука сильно отклоняется от заданного направления	Частые неточности	Средний уровень координации	Хорошая координация	Отличная координация руки и глаза
Скорость выполнения задания	Очень медленно, с большими паузами	Замедленно, с долгими размышлениями	Средняя скорость	Быстро, с редкими остановками	Быстро и уверенно, без пауз
Удержание стилуса/карандаша	Слабый хват или чрезмерное зажатие	Часто меняет хват или неудобно держит	Правильный хват, но с напряжением	Уверенный хват с редкими ошибками	Правильный, расслабленный и устойчивый хват
Завершенность задания	Не начал или бросил задание	Выполнено менее 50%	Почти завершено, но есть пропуски	Завершено почти полностью	Полностью завершено
Качество написания букв	Символы неузнаваемы	Буквы искажены, трудно распознаваемы	Буквы читаемы, но с ошибками	Почти точное написание	Четкое и правильное написание букв
Устойчивость внимания	Быстро теряет интерес, отвлекается постоянно	Часто отвлекается	Умеренная концентрация	Хорошая сосредоточенность	Полная концентрация, не отвлекается

На основании представленной выше математической модели анализа ошибок при цифровом обучении письму были разработаны отчеты для анализа оценки графомоторных навыков дошкольников при выполнении заданий в электронном приложении «Ловкие пальчики».

### Результаты и обсуждение

Все отчеты по цифровому обучению письму хранятся в базе данных приложения и могут быть импортированы в Excel согласно рисункам ниже. На рисунке 3 представлен отчет по анализу цифрового обучения написанию букв по подгруппе.

Подгруппа 3	Буквы					Средний процент Освоение навыка индивидуальный	
Дата	18.04.2025						
Выполнение заданий в %. Написание букв.							
ФИО ребенка	"А"	"Б"	"В"	"Г"	"Д"		
1. Артём Васильев	100	80	80	100	70	86 отлично	
2. Алина Кузнецова	50	45	45	48	25	43 удовлетворительно	
3. Тимур Сағынбай	68	70	45	100	64	69 хорошо	
4. Аяжан Ермакқызы	25	30	30	80	60	45 удовлетворительно	
5. Карина Погосян	95	84	80	100	80	88 отлично	
6. Давид Меликян	86	88	84	100	91	90 отлично	
7. Милана Ахметова	100	95	100	100	100	99 отлично	
8. Айдар Хусаинов	54	50	63	100	78	69 хорошо	
9. Амина Гатауллина	75	70	73	100	76	79 хорошо	
10. Самат Нурланов	95	90	100	100	84	94 отлично	
Средний % по группе	75	70	70	93	73		
Наилучшая буква				"Г"			
к-во более 81%				5			

Рисунок 3 – Отчет по анализу цифрового обучения написанию букв по подгруппе

Для каждого ребенка был сгенерирован логин и пароль для работы в электронном приложении. В конце недели или после каждого занятия воспитатель может импортировать отчет, в котором отражается уровень освоения навыков письма по каждой букве или по каждому ребенку отдельно. Такой отчет помогает понять, написание каких букв дается детям наиболее сложно. В дальнейшем воспитатель может запланировать дополнительные занятия и отработать написание сложных букв.

Отчет, который формируется по каждому ребенку отдельно, дает понимание об индивидуальном освоении навыка письма. Дети, имеющие низкие проценты, например, менее 41%, нуждаются в дополнительных занятиях и коррекции по постановке графомоторных навыков.

Подобный отчет формируется и при выполнении дорожек. Отчет представлен на рисунке 4.

В приложении предусмотрена возможность импорта полного отчета по освоению написания букв и дорожек, который представлен на рисунке 5. Отчет содержит полный анализ по выполнению заданий и комментарии для каждого ребенка. Комментарий поможет воспитателем и родителями подобрать корректирующие задания.

На форме предусмотрена кнопка «График», при нажатии на которую информация из отчета будет представлена в виде графика с указанием процента освоения навыка в соответствии с рисунком 6.

Дата	Подгруппа 3	Дорожки						Средний процент	Освоение навыка
	18.04.2025	Выполнение заданий в %. Написание дорожек							
	ФИО ребенка	Мышка	Обезьяна	Медведь	Бабочка	Кролик	Котенок		
	1. Артём Васильев	90	80	100	95	100	90	93 отлично	
	2. Алина Кузнецова	40	25	64	42	80	54	51 удовлетворительно	
	3. Тимур Сағынбай	70	60	100	70	95	61	76 хорошо	
	4. Аяжан Еркеқызы	43	25	70	51	80	50	53 удовлетворительно	
	5. Карина Погосян	90	82	100	80	92	86	88 отлично	
	6. Давид Меликян	100	94	100	90	100	80	94 отлично	
	7. Милана Ахметова	100	100	100	90	100	92	97 отлично	
	8. Айдар Хусаинов	71	65	100	70	76	85	78 хорошо	
	9. Амина Гатауллина	80	80	100	86	89	82	86 отлично	
	10. Самат Нурланов	100	95	100	90	98	90	96 отлично	
	Средний % по группе	78	71	93	76	91	77		
		Наилучшая дорожка Медведь							
		к-во более 81%		6					

Рисунок 4 – Отчет по анализу цифрового обучения написанию дорожек по подгруппе

Дата	Подгруппа 3	Выполнение заданий в %, уровень				Комментарий	
	18.04.2025	Буквы	Уровень	Дорожки	Уровень		
	ФИО ребенка						
	1. Артём Васильев	86	отлично	93	отлично	Комментарий	
	2. Алина Кузнецова	42,6	удовлетворительно	51	удовлетворительно	Комментарий	
	3. Тимур Сағынбай	69,4	хорошо	76	хорошо	Комментарий	
	4. Аяжан Еркеқызы	45	удовлетворительно	53	удовлетворительно	Комментарий	
	5. Карина Погосян	87,8	отлично	88	отлично	Комментарий	
	6. Давид Меликян	89,8	отлично	94	отлично	Комментарий	
	7. Милана Ахметова	99	отлично	97	отлично	Комментарий	
	8. Айдар Хусаинов	69	хорошо	78	хорошо	Комментарий	
	9. Амина Гатауллина	78,8	хорошо	86	отлично	Комментарий	
	10. Самат Нурланов	93,8	отлично	96	отлично	Комментарий	

График

Рисунок 5 – Отчет по анализу цифрового обучения письму (полный)

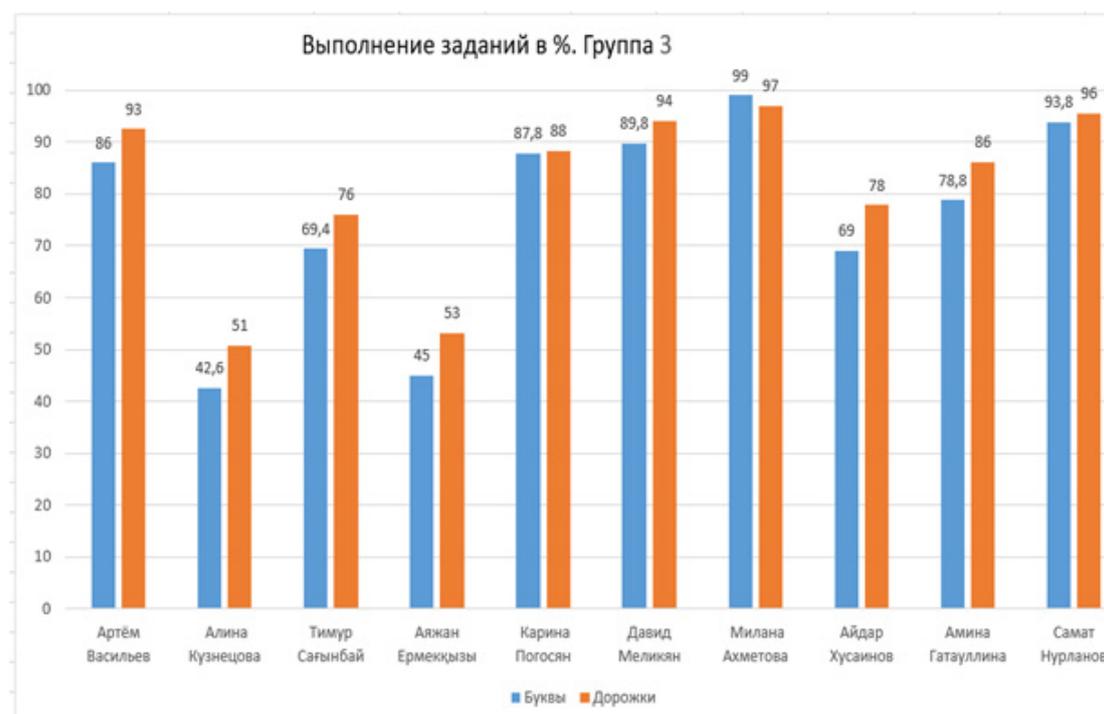


Рисунок 6 – График по анализу цифрового обучения письму (полный)

Разработанное интеллектуальное электронное приложение «Ловкие пальчики» позволяет проводить агрегированный анализ, фильтруя данные по идентификатору пользователя и цели задания, что обеспечивает отслеживание индивидуальной динамики развития мелкой моторики и качества выполнения. Прогресс оценивается как разность значений между попытками, свидетельствуя о развитии навыка. Это позволяет динамически изменять сложность и тип заданий в зависимости от текущего прогресса и выявленных проблем ребенка, обеспечивая адаптивную коррекцию.

Для комплексной оценки эффективности разрабатываемой системы была проведена сравнительная характеристика с наиболее популярными цифровыми решениями, направленными на развитие графомоторных навыков у детей дошкольного возраста. Сравнительный анализ охватывает ключевые параметры: целевую аудиторию, поддержку алфавитов, реализацию механики заданий, глубину анализа ошибок, формы обратной связи, возможности мониторинга и уникальные особенности каждого решения. Это позволяет определить конкурентные преимущества и инновационные аспекты предложенного мобильного приложения «Ловкие пальчики». Результаты анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расширенный сравнительный анализ систем формирования графомоторных навыков

Признак сравнения	«Ловкие пальчики»	LetterSchool	Writing Wizard for Kids	ABC Kids – Tracing & Phonics	Kaligo
Целевой возраст	4–6 лет	3–7 лет	3–7 лет	2–6 лет	3–7+ лет
Поддерживаемые алфавиты	Казахский, русский, английский (заявлено)	Английский, испанский, немецкий, французский и др.	Английский, испанский, французский, немецкий	Английский	Английский, французский

Продолжение таблицы 2

Механика заданий	Обводка линий («Дорожки»), написание букв (печатных)	Анимированная обводка букв и цифр	Обводка букв и слов, игровые элементы	Обводка букв, игры на поиск букв	Упражнения на планшете со стилусом, охватывает весь процесс обучения письму
Анализ ошибок	Запись количества ошибок, времени; процент правильного написания; отклонение от эталона (на базе кусочнолинейной функции)	Базовая оценка точности обводки	Оценка точности, возможность повтора	Простая проверка правильности обводки	Детальный анализ на основе ИИ, оценка формы, порядка, направления, скорости
Обратная связь	Оценка уровня точности (низкий, средний, высокий), рекомендации (планируется)	Положительное подкрепление, анимации	Звуковые и визуальные эффекты	Положительные звуки и анимации	Немедленная визуальная и аудио обратная связь
Мониторинг прогресса	Запись результатов, формирование отчетов для родителей/педагогов (планируется)	Отслеживание прогресса для нескольких детей	Отчеты о прогрессе, настройка сложности	Базовое отслеживание изученных букв	Панель для учителей с подробной аналитикой
Уникальные особенности	Фокус на казахском алфавите, использование слайна Кэтмулл-Рома для сглаживания, анализ нажима (реализован)	Широкий выбор языков, игровая мотивация	Создание собственных списков слов	Бесплатное, фокус на фонетике	Использование ИИ для анализа, поддержка школьных программ
Платформы	Android (планшет, смартфон, ноутбук с сенсорным экраном)	iOS, Android	iOS, Android	iOS, Android	iOS, Android, Windows

Комплекс проведенных исследований демонстрирует устойчивый вектор на интеграцию цифровых и интеллектуальных решений в образовательные процессы – от дошкольного уровня до высшего образования.

### Заключение

В отличие от многих существующих программ, которые дают лишь индикацию «правильно/неправильно» или базовую оценку точности, приложение «Ловкие пальчики» предоставляет детализированный анализ ошибок по критериям.

Для родителей и педагогов генерируются подробные, структурированные отчеты, включающие общую сводку, среднюю точность по освоенным буквам и динамику общей точности и среднего количества. Эти отчеты своевременно информируют взрослых о динамике развития ребенка и помогают принимать обоснованные решения относительно дальнейшей стратегии обучения или необходимости консультации со специалистами.

Разработанное интеллектуальное электронное приложение «Ловкие пальчики» с возможностью анализа формирования графомоторных навыков при цифровом обучении письму может воспитателям и родителям вовремя подобрать корректирующие задания и подготовить ребенка к школе.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Rane, D., Verma, P., Lahiri, U. How Good is Your Drawing? Quantifying Graphomotor Skill Using a Portable Platform. *Lecture Notes in Computer Science*, 409–422 (2022). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-22131-6\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-031-22131-6_31).
- 2 Dinehart, L.H. Handwriting in early childhood education: Current research and future implications. *Journal of Early Childhood Literacy*, 15(1), 97–118 (2014). <https://doi.org/10.1177/1468798414522825>.
- 3 Ceccacci, S., Taddei, A., Del Bianco, N., Giaconi, C., Forteza Forteza, D., Moreno-Tallón, F. Preventing Dysgraphia: Early Observation Protocols and a Technological Framework for Monitoring and Enhancing Graphomotor Skills. *Information*, 15(12), 781 (2024). <https://doi.org/10.3390/info15120781>.
- 4 Šafařová, K., Mekyska, J., Urbánek, T., Galáž, Z., Mucha, J., Zvončák, V., Bednářová, J. Grafomotorické dovednosti. Masaryk University, Brno (2022). <https://doi.org/10.5817/cz.muni.m280-0257-2022>.
- 5 Kopnova, O.L., Aytymova, A.M., Abildinova, G., Safaraliev, B.S., Koleva, N.S., Panova, M. Assessment of the level of formation of graphomotor skills of preschool and primary school students using graphic tablets. *Sovremennye Naukoemkie Tehnologii*, 5, 154–159 (2024). <https://doi.org/10.17513/snt.40021>.
- 6 Devillaine, L., Lambert, R., Boutet, J., Aloui, S., Brault, V., Jolly, C., Labyt, E. Analysis of Graphomotor Tests with Machine Learning Algorithms for an Early and Universal Pre-Diagnosis of Dysgraphia. *Sensors*, 21(21), 7026 (2021). <https://doi.org/10.3390/S21217026>.
- 7 Aitymova, A., Iklassova, K., Abildinova, G., Shaporeva, A., Kopnova, O., Kushumbayev, A., Smolyaninova, S., Aitymov, Z., Karymsakova, A. Development of a model of information process management in the information and educational environment of preschool education organizations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(3), 95–105 (2023). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276253>.
- 8 Iklassova, K., Aitymova, A., Kopnova, O., Shaporeva, A., Abildinova, G., Nurbekova, Z., Almagambetova, L., Gorokhov, A., Aitymov, Z. Ontology modeling for automation of questionnaire data processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(2), 36–52 (2024). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.314129>.
- 9 AlKendi, W., Gechter, F., Heyberger, L., Guyeux, C. Advancements and Challenges in Handwritten Text Recognition: A Comprehensive Survey. *Journal of Imaging*, 10(1), 18 (2024). <https://doi.org/10.3390/jimaging10010018>.
- 10 Tayebi Arasteh, S., Kalisz, A. Conversion Between Cubic Bezier Curves and Catmull–Rom Splines. *SN Computer Science*, 2, 398 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00770-x>.
- 11 Li, J., Chen, S. The Cubic  $\alpha$ -Catmull-Rom Spline. *Mathematical and Computational Applications*, 21(3), 33 (2016). <https://doi.org/10.3390/mca21030033>.
- 12 Wu, T., Bai, B., Wang, P. Parallel Catmull-Rom Spline Interpolation Algorithm for Image Zooming Based on CUDA. *Applied Mathematics & Information Sciences*, 7, 533–537 (2013). <https://www.naturalspublishing.com/Article.asp?ArtcID=1048>.
- 13 DeRose, T.D., Barsky, B.A. Geometric continuity, shape parameters, and geometric constructions for Catmull-Rom splines. *ACM Transactions on Graphics*, 7(1), 1–41 (1988). <https://doi.org/10.1145/42188.42265>.
- 14 Kong, C., Luo, A., Wang, S., Li, H., Rocha, A., Kot, A. Pixel-inconsistency modeling for image manipulation localization. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 47(6), 4455–4472 (2025). URL: <https://arxiv.org/abs/2310.00234>.
- 15 Yu, C., Zhang, X., Duan, Y., Yan, S., Wang, Z., Xiang, Y., Ji, S., Chen, W. Diff-id: An explainable identity difference quantification framework for deepfake detection. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 1–18 (2024). URL: <https://arxiv.org/abs/2303.18174>.
- 16 Lyu, S., Pan, X., Zhang, X. Exposing Region Splicing Forgeries with Blind Local Noise Estimation. *International Journal of Computer Vision*, 110, 202–221 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11263-013-0688-y>.
- 17 Marschner, S. CS 4620 Lecture 14: Splines. Cornell University (2020). URL: <https://www.cs.cornell.edu/courses/cs4620/2020fa/slides/14splines.pdf>.

**<sup>1\*</sup>Шапорева А.В.,**

PhD, доцент, ORCID ID: 0000-0002-6211-5634,

\*e-mail: annvolkova@mail.ru

**<sup>1</sup>Копнова О.Л.,**

PhD, ORCID ID: 0000-0002-6299-3728,

e-mail: okopnova@ku.edu.kz

**<sup>2</sup>Шевчук Е.В.,**

т.ғ.к., доцент, ORCID ID: 0000-0002-1206-3960,

e-mail: evshevch@mail.ru

**<sup>3</sup>Абдулла Л.Н.,**

PhD, қауымдастырылған профессор, ORCID ID: 0000-0001-8704-2390,

e-mail: liyana@upm.edu.my

**<sup>1</sup>Икласова К.Е.,**

PhD, доцент, ORCID ID: 0000-0002-8330-4282,

e-mail: kiklasova@mail.ru

**<sup>1</sup>Айтымова А.М.**

PhD, ORCID ID: 0000-0003-1128-6924,

e-mail: amakasheva@ku.edu.kz

<sup>1</sup>Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті,  
Петропавл қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Сібір мемлекеттік геожүйелер және технологиялар университеті,  
Новосибирск қ., Ресей

<sup>3</sup>Путра университеті, Urm Серданг Селангор, Малайзия

## ГРАФОМОТОРЛЫҚ DAҒДЫЛАРДЫ БАҒАЛАУ ҮШІН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ҚОЛЖАЗБАНЫ ӨНДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

### Аңдатпа

Білім беруді цифрландырудың қазіргі тенденциялары жазуды оқыту процесіне, әсіресе мектепке дейінгі кезеңде технологияларды белсенді енгізуге ықпал етеді. Мақалада сенсорлық құрылғыларды пайдаланып әріптерді жазу кезінде қателерді математикалық модельдеу негізінде мектеп жасына дейінгі балаларда графомоторлық дағдыларды қалыптастыруды талдаудың интеллектуалды жүйесі берілген. Зерттеудің мақсаты – «епті саусақтар» цифрлық қосымшасында тапсырмаларды орындау кезінде стандарттан типтік ауытқуларды анықтауға және талдауға мүмкіндік беретін графомоторлық қателерді бағалаудың математикалық моделін әзірлеу және сынақтан өткізу. Ұсынылған модель пайдаланушының жазу траекториясын эталондық траекториямен салыстыруға негізделген, мұнда эталон кесінділі-сызықтық функциялар түрінде ұсынылады. Талдау дәлдігін арттыру мақсатында Кэтмулл–Рома сплайн негізіндегі тегістеу әдісі қолданылады. Бағалау үшін келесі метрикалар жүйесі ұсынылған: пішіннің ауытқуы, бұрыштық ауытқу, бастапқы және соңғы нүктелердің ығысуы, сондай-ақ ұқсастық метрикасы (freshе қашықтығы). Аталған көрсеткіштер тапсырманың орындалу сапасының интегралдық бағасын қалыптастырады. Қолданба мұғалімдер мен ата-аналар үшін есептер мен прогресс кестелерін автоматты түрде жасайды және түзету шаралары бойынша ұсыныстар береді. Әзірленген интерфейс қателерді визуализациялауға, ұсыныстарды қалыптастыруға және баланың ілгерілеуін тіркеуге мүмкіндік береді. Бұл тәсіл мұғалімдердің дәстүрлі бақылау әдістерін толықтыра отырып, жазу дағдыларын диагностикалау және түзету мүмкіндіктерін едәуір кеңейтеді. Осылайша, «епті саусақтар» интеллектуалды электронды қосымшасы жазудың бұзылуын ерте анықтауға және мектеп жасына дейінгі балалардың мектепке дайындығын арттыруға ықпал ететін цифрлық педагогикалық диагностиканың тиімді құралы болады.

**Тірек сөздер:** сандық жазуды оқыту, графомоторлық дағдылар, математикалық модельдеу, сплайн Кэтмулл–Рома, жазу диагностикасы, адаптивті оқыту.

**<sup>1</sup>\*Shaporeva A.V.,**

PhD, Associate Professor, ORCID ID: 0000-0002-6211-5634,

\*e-mail: annvolkova@mail.ru

**<sup>1</sup>Kopnova O.L.,**

PhD, ORCID ID: 0000-0002-6299-3728,

e-mail: okopnova@ku.edu.kz

**<sup>2</sup>Shevchuk E.V.,**

Cand. Tech. Sc., Associate Professor, ORCID ID: 0000-0002-1206-3960,

e-mail: evshevch@mail.ru

**<sup>3</sup>Abdullah L.N.,**

PhD, Associate Professor, ORCID ID: 0000-0001-8704-2390,

e-mail: liyana@upm.edu.my

**<sup>1</sup>Iklassova K.E.,**

PhD, Associate Professor, ORCID ID: 0000-0002-8330-4282,

e-mail: kiklasova@mail.ru

**<sup>1</sup>Aitymova A.M.**

PhD, ORCID ID: 0000-0003-1128-6924,

e-mail: amakasheva@ku.edu.kz

<sup>1</sup>Manash Kozybayev North-Kazakhstan University,  
Petropavlovsk, Kazakhstan,<sup>2</sup>Siberian State University of Geosystems and Technologies,  
Novosibirsk, Russia<sup>3</sup>Putra University, UPM Serdang Selangor, Malaysia**DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT HANDWRITING  
PROCESSING AND ANALYSIS SYSTEM  
FOR EVALUATING GRAPHOMOTOR SKILLS****Abstract**

Modern trends in the digitalization of education contribute to the active introduction of technology into the process of teaching writing, especially at the preschool stage. The article presents an intelligent system for analyzing the formation of graphomotor skills in preschool children based on mathematical modeling of errors when writing letters using touch devices. The purpose of the research is to develop and test a mathematical model for estimating graphomotor errors, which makes it possible to identify and analyze typical deviations from the standard when performing tasks in the Dexterous Fingers digital application. The model is based on comparing the user's trajectory with the reference one, represented as piecewise linear functions. Smoothing using the Catmull-Rum spline is used to improve the accuracy of the analysis. A system of metrics is proposed: shape deviation, angular deviation, offset of the start/end points, and similarity metric (Frechet distance). These parameters form an integral assessment of the quality of the task. The app automatically generates progress reports and graphs for educators and parents, as well as provides recommendations for corrective actions. The developed interface visualizes errors, forms recommendations and records progress. This approach significantly expands the possibilities of diagnosing and correcting writing skills, complementing traditional methods of teacher supervision. Thus, the smart electronic application "Dexterous Fingers" is an effective tool for digital pedagogical diagnostics, contributing to the early detection of writing disorders and improving preschool children's readiness for school education.

**Keywords:** digital writing training, graphomotor skills, mathematical modeling, Catmull-Roma spline, writing diagnostics, adaptive learning.

*Received: August 8, 2025; revised: November 13, 2025; accepted: January 14, 2026.*