

Научная статья

УДК: 373

DOI: 10.25688/2072-9014.2024.67.1.12

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ШКОЛЬНИКОВ К ЭКЗАМЕНАМ ГИА ПО МАТЕМАТИКЕ

Борис Борисович Ярмахов¹ ✉,
Алексей Иванович Зайцев²

¹ Московский городской педагогический университет,
Москва, Россия

² Компания «01Математика образование»,
Москва, Россия

¹ yarmakhovbb@mgpu.ru ✉

² azaytsev@01math.com

Аннотация. В статье представлены результаты исследования, направленного на изучение эффективности использования систем адаптивного обучения в подготовке школьников к сдаче экзаменов ГИА по математике. В выборку вошли 4012 учащихся из 19 регионов РФ, принимавших участие в проекте «Готовим к ГИА с искусственным интеллектом» в 2023 году. В качестве основного инструмента оценки эффективности использовался коэффициент Каппа Коэна для контрольной и экспериментальной выборок, рассчитываемый на данных цифрового следа, собранного на платформе адаптивного обучения. Проведенный анализ показал, что систематическое использование платформы адаптивного обучения в подготовке к сдаче экзамена ГИА по математике дает стабильный прирост в баллах, вычисляемый по разнице между результатами пробного и итогового экзаменов. Размер эффекта использования системы адаптивного обучения у школьников при подготовке к сдаче экзамена ОГЭ составил 0,21 пункта, к сдаче базового экзамена ЕГЭ — 0,25 и профильного экзамена ЕГЭ — 0,15 пунктов. Таким образом, получило подтверждение предположение о том, что эффективность системы адаптивного обучения может быть оценена на основе коэффициента Каппа Коэна на материале итоговых государственных экзаменов.

Ключевые слова: система адаптивного обучения; итоговая государственная аттестация; обучение математике; доказательное образование.

Original article

UDC: 373

DOI: 10.25688/2072-9014.2024.67.1.12

ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF AN ADAPTIVE LEARNING SYSTEM IN PREPARING HIGH SCHOOL STUDENTS FOR STATE EXAMINATIONS IN MATHEMATICS

Boris B. Yarmakhov¹ ✉,
Alexey I. Zaitsev²

¹ Moscow City University,
Moscow, Russia

² Company “01Mathematics Education”,
Moscow, Russia

¹ yarmakhovbb@mgpu.ru ✉

² azaytsev@01math.com

Abstract. The article presents the results of a study focussing the effectiveness of adaptive learning systems in preparing high school students for State Examinations in mathematics. The sample included 4012 students from 19 regions of the Russian Federation who took part in the project “Preparing for the State Examination with Artificial Intelligence” in 2023. Cohen’s Kappa coefficient was used as the main tool for assessing effectiveness for the control and experimental samples, calculated on the digital footprint data collected on the adaptive learning platform. The analysis showed that the systematic use of the adaptive learning platform in preparing students for taking the State Examination in Mathematics gives a stable increase in scores, calculated by the difference between the results of the trial and final State Examination. The effect size of using the adaptive learning system for students when preparing to take the Unified State Examination was 0.21 points, for the basic Unified State Examination — 0.25, and for the specialized Unified State Examination — 0.15 points. Thus, the assumption that the effectiveness of the adaptive learning system can be assessed based on the Cohen’s Kappa coefficient based on the material of final state exams was confirmed.

Keywords: adaptive learning system; final state certification; teaching mathematics; evidence-based education.

Для цитирования: Ярмахов Б. Б. Оценка эффективности использования системы адаптивного обучения при подготовке школьников к экзаменам ГИА по математике / Б. Б. Ярмахов, А. И. Зайцев // Вестник МГПУ. Серия «Информатика и информатизация образования». 2024. № 1 (67). С. 124–137.

For citation: Yarmakhov B. B. Assessing the effectiveness of an adaptive learning system in preparing high school students for state examinations in mathematics / B. B. Yarmakhov, A. I. Zaitsev // MCU Journal of Informatics and Informatization of Education. 2024. № 1 (67). P. 124–137.

Введение

Развитие систем адаптивного обучения и их внедрение в учебный процесс становится сегодня одним из ведущих образовательных трендов. Согласно оценкам консалтингового агентства «Гартнер», до 2025 года опыт работы с системами адаптивного обучения будут получать до 60 % школ во всем мире [1]. Это делает данную форму обучения одной из наиболее востребованных современных образовательных технологий. В основе адаптивного обучения лежит идея создания для обучающегося возможности освоения содержания учебного предмета персонализированным образом, то есть продвигаясь по индивидуальной образовательной траектории, что позволяет каждому обучающемуся осваивать материал так, чтобы он наилучшим образом соответствовал его уровню обученности, индивидуальной истории обучения, когнитивным способностям и учебному стилю [2].

Ряд функциональных возможностей реализуется на платформах адаптивного обучения в виде блоков, обеспечивающих их использование в качестве системы управления обучением (*англ.* Learning Management System, LMS), с помощью которых учитель получает дополнительные возможности для обучения по предмету всех групп учащихся вне зависимости от их текущего уровня подготовки. Это позволяет создать возможность для успешного обучения школьников с различными стартовыми возможностями — уровнем обученности и когнитивных способностей, стилей обучения, существующих пробелов в знаниях и т. д. [3].

Первые решения в области адаптивного обучения были предложены в 1950-х годах, когда с помощью механических, а затем и электронных устройств были созданы коллекции единиц учебного содержания и заданий к ним, позволяющие ученику продвигаться в освоении материала по индивидуальной траектории, а не по общей для всего класса программе. Следующий шаг ученика зависел от того решения, которое он принимал на предыдущем шаге [4].

П. Я Гальперин считал, что в программированном обучении есть рациональное зерно. Он указывал, что сложившаяся во второй половине XIX века система преподавания уже устарела и не может решить остро стоящую задачу подготовки большого количества специалистов, владеющих знаниями в области современной физики, математики, химии, биологии и методики обучения. В программированном обучении он видел прежде всего путь к оптимизации педагогического процесса. Вместе с тем он отмечал, что на момент его обращения к вопросам программированного обучения — 1960-е годы — теоретическое осмысление этого направления сильно отставало от той волны энтузиазма, которая была связана собственно с конструированием технических устройств — «машин для обучения», с помощью которых оно реализовывалось [5].

Развитие систем адаптивного обучения в наше время связано прежде всего с возможностью их реализации на платформах цифрового обучения [6]. Во-первых, благодаря современным протоколам публикации учебных материалов на цифровых платформах появилась возможность повторно использовать цифровые учебные объекты, создаваемые как дизайнерами онлайн-курсов, так и пользователями глобальных сетей [7]. Во-вторых, освоение в образовании технологий больших данных, машинного обучения, искусственного интеллекта позволяет гибко управлять процессом обучения на основе анализа цифрового следа, оставляемого обучаемым на учебной платформе [8].

Сегодня системы адаптивного обучения — это сетевые платформы с размещенными на них цифровыми ресурсами, на основе которых может быть организован персонализированный за счет использования алгоритмов искусственного интеллекта учебный процесс [9]. Таким образом школьники могут осваивать содержание образования с учетом своих способностей, стиля обучения, уровня обученности и в индивидуальном темпе. В учебном процессе системы адаптивного обучения могут использоваться как в полностью дистанционном режиме, например при выполнении школьниками домашних заданий, так и в формате перевернутого класса, когда дома школьники осваивают навыки работы с материалом, а приходя в школу, обсуждают с учителем и одноклассниками результаты самостоятельного обучения [10].

Современные системы адаптивного обучения представляют собой сложные педагогические инструменты, эффективное использование которых требует определенной подготовки от учителя. Такая подготовка должна включать общую компьютерную грамотность, профессиональные навыки работы с цифровыми обучающими системами и интерфейсами, понимание основ персонализированного подхода [11]. Важную роль при этом играют такие условия адаптивного обучения, как доступ учащихся к устройствам, на которых проводится обучение, наполняемость классов, качество подключения к цифровым ресурсам и платформам. Все эти факторы влияют в конечном итоге на эффективность использования систем адаптивного обучения в решении образовательных задач.

Среди систем адаптивного обучения сегодня большое распространение получили так называемые умные тьюторы (*англ.* intelligent tutors), алгоритм действия которых напоминает деятельность человека — наставника [1]. Такие решения проводят глубокую диагностику уровня знания, когнитивных возможностей и учебного стиля учащегося, чтобы предоставить ему максимально соответствующую его возможностям траекторию индивидуального обучения и корректировать его в процессе обучения [12].

Одним из ключевых вопросов, возникающих при использовании систем адаптивного обучения в учебном процессе, является оценка их эффективности. В литературе упоминаются несколько параметров, на основе которых можно ее произвести. Наиболее часто встречаемым параметром эффективности систем адаптивного обучения являются результаты итогового тестирования

по предмету, при преподавании которого применялись эти системы [13; 14]. Получение статистически значимых результатов итогового тестирования у учащихся, участвовавших в итоговом тестировании — ГИА или одном из ее зарубежных аналогов, — позволяет с высокой степенью вероятности судить об эффективности использования в учебном процессе системы адаптивного обучения. Вместе с тем этот параметр не лишен и недостатков, прежде всего низкой регулярности проведения итоговых тестов, в результате чего значимые данные об эффективности системы адаптивного обучения получаются достаточно редко, чтобы с их помощью можно было бы вносить необходимые коррективы в учебный процесс.

В качестве следующего по значимости параметра эффективности рассматривается текущая успеваемость [15]. Ее преимуществом, по сравнению с итоговой успеваемостью, является возможность получения необходимых данных по ходу учебного процесса. Вместе с тем формализация данных текущей успеваемости для сопоставления со шкалами адаптивного обучения может вести к дополнительным затруднениям [16].

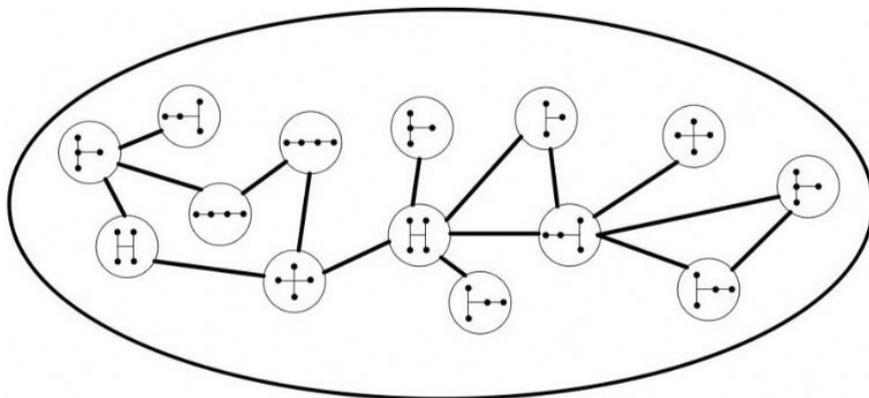
Еще одним параметром, который может использоваться для оценки эффективности системы адаптивного обучения, является время, затраченное учащимся на освоение одного и того же учебного материала с использованием или без использования такой системы. Так, исследование И. Гергулеску [17], проводившееся на выборке из более чем 10 000 учащихся, которым была предоставлена возможность использовать в обучении систему адаптивного обучения *Adaptemu*, показало, что те из них, кто хотя бы раз обращался к этой системе в учебном процессе, продемонстрировали улучшение результатов освоения учебного материала при снижении необходимого для этого количества времени.

Инструментарий и описание выборки

В исследовании, направленном на изучение эффективности использования системы адаптивного обучения при подготовке школьников к сдаче экзаменов ГИА по математике, приняли участие 245 учителей и 4012 учащихся 9-го и 11-го классов из общеобразовательных школ 19 регионов РФ. Подготовка велась в марте – июне 2023 года на платформе адаптивного обучения *01EGE.RU*, разработанной компанией «01Математика образование» в рамках проекта «Готовим к ГИА с искусственным интеллектом».

Данная платформа была выбрана для проведения исследования в силу того, что она обладает необходимым функционалом адаптивного обучения и контентом, соответствующим ФГОС общеобразовательной школы по математике. Вместе с тем, в отличие от традиционного учебника, материал в системе адаптивного обучения представлен нелинейно и каждый следующий шаг определяется выбором системой оптимальной траектории на каждой из развилки.

Обучение на платформе адаптивного обучения может быть представлено в виде обхода учащимся графа, вершинами которого являются элементарные единицы учебного материала (рис. 1). Если он успешно справляется с заданиями одной единицы, то система предоставляет ему возможность перехода к следующей, связанной с первой, по отношению к которой это задание является пререквизитом (необходимым условием).



Источник: подготовлено авторами.

Рис. 1. Фрагмент графа учебных материалов адаптивного курса

После авторизации учащегося в системе граф элементов курса представляется для него полностью открытым. Однако по мере движения учащегося по графу и выполнения заданий в системе накапливается информация о его учебной деятельности, сильных и слабых сторонах, разделах курса, в которых он нуждается в дополнительном обучении, на основе чего формируется его уникальная образовательная траектория. С точки зрения системы элементы курса становятся помеченными.

Особенностью подхода, используемого на данной платформе, является поддержка четырех уровней адаптации учебного материала, что позволяет осуществлять персонализированный подход к обучающимся, находящимся на различных уровнях владения учебным материалом и использующим различные стили учебной деятельности.

Первый уровень адаптивного обучения в системе организован вокруг конкретного задания и помогает решить именно это задание с помощью системы подсказок. Учащийся получает подсказку (теоретический материал и примеры в виде решения аналогичного задания, интерактивного графика и т. д.), позволяющую правильно решить задачу. После изучения теоретического материала учащийся получает возможность решить задачу повторно. Если он успешно справляется с заданием, то он получает возможность двигаться далее по графу учебного курса.

Второй уровень задействуется в случае возникновения у учащегося затруднений с определенным типом задач, на материале определенной подтемы. В этом случае в системе заложена возможность декомпозиции решаемой

задачи на более простые элементы и направление учащегося на решение ранее пройденного материала, в освоении которого у учащегося обнаружены пробелы. Для этого в каждом блоке задач создается иерархия их типов. Создание конкретных заданий, относящихся к тому или иному типу, осуществляется в системе автоматически, с помощью генератора задач.

Таким образом, в системе адаптивного обучения задействуются два типа задач: основные (используемые для контроля и коррекции образовательной траектории) и вспомогательные (используемые для объяснения учащемуся способов решения основной задачи в случае возникновения у него затруднений).

На третьем уровне адаптивного обучения осуществляется работа с концепцией, рассматриваемой в задаче. Для этого у учителя есть возможность подобрать из банка имеющихся заданий те, которые наилучшим образом соответствуют рассматриваемой математической концепции.

Четвертый уровень адаптивности основан на том, что накопление в системе значительного массива данных о результатах и маршрутах продвижения учащихся по индивидуальным образовательным траекториям позволяет задействовать алгоритмы машинного обучения с тем, чтобы формировать для каждого учащегося индивидуальный маршрут.

Для этого о деятельности учащегося собираются следующие данные:

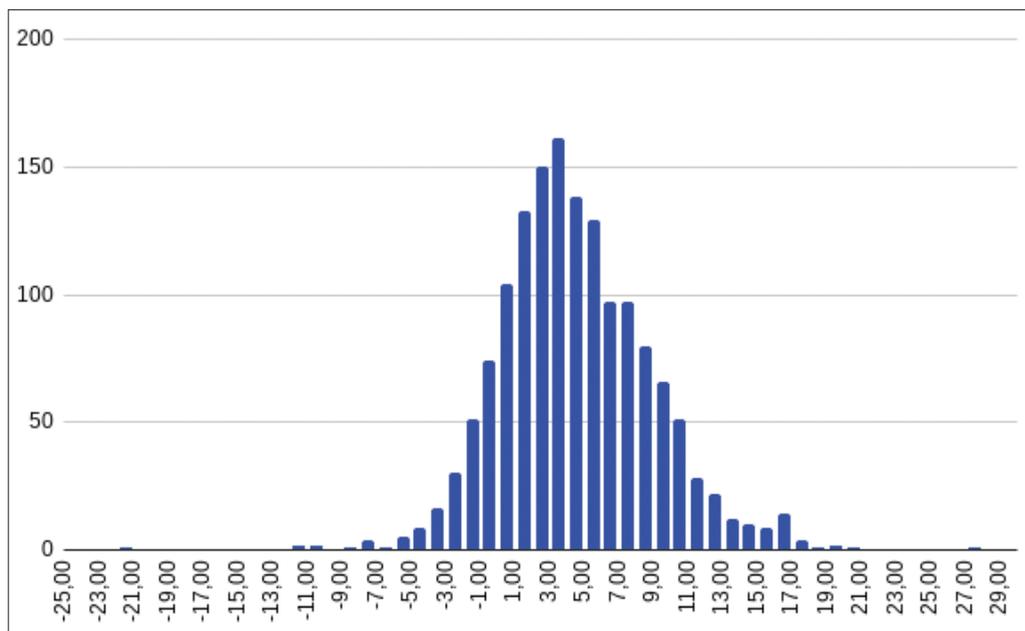
- ожидание успешного завершения блока;
- список с частотой ошибок;
- условные частоты переходов в смежных блоках.

На основе этих данных уточняются имеющиеся связи и добавляются новые соединения или нулевой уровень адаптивного обучения для блоков с невысоким математическим ожиданием. Анализ успешности прохождения материала (количество попыток решения заданий и времени, затраченного на усвоение материала) позволяет оценить качество и детализацию материала. Выявляются пробелы в учебных блоках при низкой условной статистике перехода. Алгоритмически данный механизм работает как рекомендательная система.

Эти четыре уровня адаптивности системы, использованные в исследовании, позволили осуществить глубокую персонализацию обучения, опирающуюся не только на зафиксированные при выполнении конкретных заданий трудности учащихся, но и на закономерности в обучении, выявленные на основе использования методов машинного обучения.

Результаты

В качестве критерия эффективности системы адаптивного обучения были выбраны результаты, продемонстрированные учащимися при сдаче итоговых экзаменов ГИА в 2023 году (рис. 2). Для каждого учащегося была подсчитана разница баллов, полученных за пробный и итоговый экзамены ГИА



Источник: подготовлено авторами.

Рис. 2. Распределение прироста результата между пробным и итоговым экзаменами в группе из 1506 школьников, сдававших экзамен ОГЭ

(ОГЭ — у учащихся 9-х классов, и ЕГЭ — базовый или профильный вариант — у учащихся 11-х классов). Наборы данных по каждой группе учащихся, сдававших экзамен ОГЭ, базовый экзамен ЕГЭ или профильный экзамен ЕГЭ, анализировались отдельно. Из выборки данных об учащихся были отобраны записи, содержавшие полную информацию о работе учащихся на платформе: результаты его предварительного и итогового экзаменов; общее время, проведенное им на платформе. Таким образом, были получены данные о 1506 учащихся, сдававших ОГЭ, 352 школьниках, сдававших базовый вариант ЕГЭ, и 648 учениках, сдававших профильный ЕГЭ.

Все наборы данных прошли тест на нормальное распределение ($p > 0,05$), нормальность распределения данных также подтверждается гистограммами.

В каждой выборке были выделены две субкатегории учащихся — активно и пассивно использовавших платформу адаптивного обучения 01ЕГЭ. В качестве критерия активности использования платформы было выбрано медианное значение данных по параметру общего количества решавшихся на платформе задач. Так, для группы, готовившейся к ОГЭ, это значение составило 254 задачи (максимальное значение по этому параметру — 3751).

Группа учащихся, сдававших базовый экзамен ЕГЭ, насчитывала 352 учащихся. Медианное значение по количеству задач, полученных учащимися в процессе подготовки к экзамену, составило 96. При этом в группе активных учащихся максимальное количество полученных задач — 2238. Группа

учащихся, сдававших профильный вариант ЕГЭ, объединяла 648 человек. Медианное количество полученных задач составило 63 при максимальном значении в 2470.

Оценка эффективности платформы адаптивного обучения 01ЕГЭ оценивалась в нашем исследовании по методике, используемой Дж. Хэтти в подходе доказательного образования [15]. Для этого между экспериментальной (активные пользователи системы адаптивного обучения) и контрольной группами производилось измерение величины эффекта по формуле расчета коэффициента Каппа Коэна:

$$d = \frac{M_2 - M_1}{\sqrt{\frac{SD_1^2 + SD_2^2}{2}}},$$

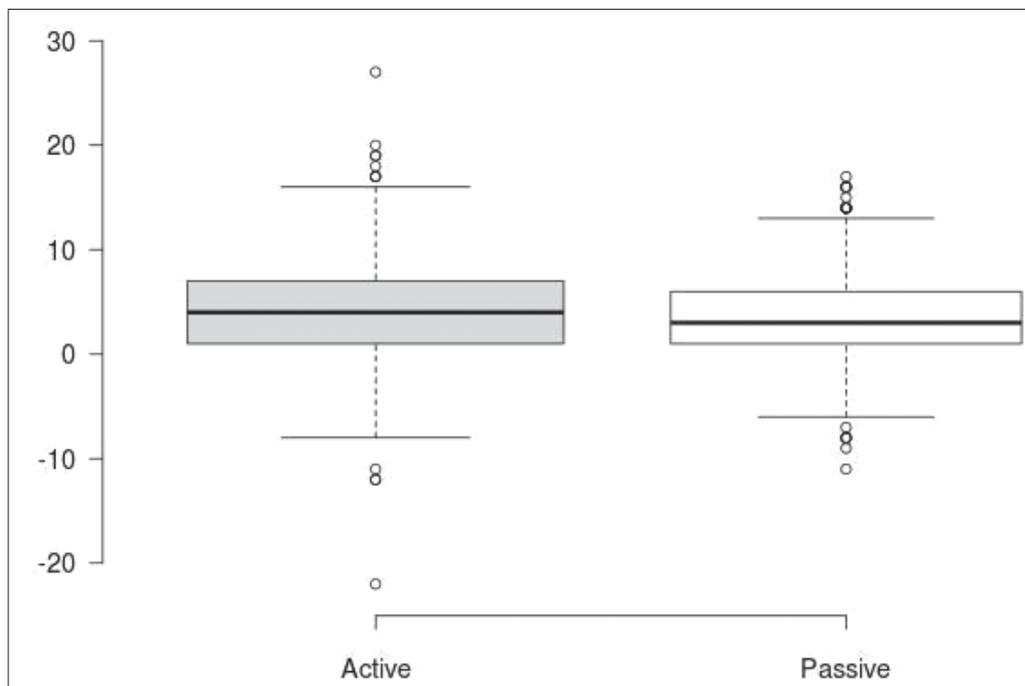
где M_1 — среднее значение прироста результата ГИА в выборке активных пользователей платформы; M_2 — среднее значение прироста результата ГИА в выборке пассивных пользователей платформы; SD_1^2 — стандартное отклонение в выборке активных пользователей; SD_2^2 — стандартное отклонение в выборке пассивных пользователей.

Данная методика стала, по сути, стандартом в области доказательного образования; на ее основе проводятся глобальные метаисследования, обобщающие опыт экспериментальной работы в связанных областях. Благодаря этому была получена объективная картина по многим областям учебной деятельности, связанной с использованием информационно-коммуникационных технологий (далее — ИКТ), и выявлены факторы эффективности использования технологий в учебном процессе.

Так, с помощью данной методики было установлено, что использование методов онлайн-обучения в школе на выборке, превышающей 4 миллиона школьников, дает в целом положительный эффект ($d = 0,25$). Применение же компьютерных технологий в различных предметах ведет к эффектам различной размерности. Оно незначительно в преподавании естествознаний ($d = 0,18$), достаточно невысоко в обучении чтению и письму ($d = 0,25$) и несколько выше в преподавании математики ($d = 0,37$). Наиболее высокий результат достигается в преподавании таким образом предметов технологического цикла ($d = 0,88$).

В наиболее близких нашему исследованию работах, касающихся использования «умных наставников», зафиксирован достаточно большой агрегированный размер эффекта ($d = 0,52$). Ряд входящих в этот исследовательский пул метаисследований демонстрирует более высокие результаты. Так, в исследовании Дж. Кулика и Дж. Флетчера [18] зафиксирован размер эффекта систем «умных наставников», равный $d = 0,66$, а К. ВанЛен [19] выявил размер эффекта при сравнении наставников-людей и наставников — цифровых агентов, равный $d = 0,76$.

Проведенные в рамках настоящего исследования измерения показали, что размер эффекта использования системы адаптивного обучения у школьников при подготовке к сдаче экзамена ОГЭ составил 0,21 пункта по шкале Хетти, что соответствует наличию наблюдаемого эффекта от использования платформы (рис. 3).



Источник: подготовлено авторами.

Рис. 3. Эффект от использования платформы адаптивного обучения у сдававших ОГЭ школьников

Еще более высоким — 0,25 пунктов — оказался размер эффекта от использования системы адаптивного обучения при подготовке школьников к сдаче базового экзамена ЕГЭ учащимися 11-х классов. Размер эффекта от использования системы адаптивного обучения при подготовке школьников к сдаче профильного экзамена ЕГЭ — 0,15 пунктов. Меньший, по сравнению с базовым вариантом ЕГЭ, размер эффекта от применения системы адаптивного обучения у школьников, сдававших профильный вариант ЕГЭ, объясняется тем, что такие школьники, как правило, более подготовлены по математике и ориентированы на высокий результат.

В их случае итоговый балл по ЕГЭ зависит скорее от их подготовки по математике на всем протяжении обучения в школе, а не от подготовки собственно к экзамену в последний год обучения.

Заключение

Проведенное исследование показало, что на сегодняшний момент используется несколько способов оценки эффективности систем адаптивного обучения в учебном процессе. В литературе отмечены и описаны: оценка эффективности по текущей успеваемости учащихся и количеству времени, необходимому на выполнение заданий. Выявленная таким образом эффективность системы адаптивного обучения подтверждена статистически.

В нашей работе рассмотрен вопрос о возможности оценки эффективности системы адаптивного обучения по результатам экзаменов с высокими ставками (*англ.* high stakes exams), которыми в РФ являются экзамены государственной итоговой аттестации, такие как ОГЭ и ЕГЭ. Исследование, проведенное на материалах результатов экзаменов ГИА 2023 года по математике, сданных 2506 учащимися, показало, что данные, полученные в ходе сдачи экзаменов, могут успешно использоваться для оценки эффективности систем адаптивного обучения, используемых для подготовки школьников к их сдаче. Это связано с практикой сдачи школьниками пробных экзаменов, что позволяет сравнить данные пробных и итоговых экзаменов. Массив данных сравнения этих экзаменов позволяет получить статистически достоверную картину.

Использование для исследования данных, полученных на платформе цифрового обучения, упрощает процесс сопоставления данных по контрольной и экспериментальной группам учащихся. В качестве контрольной группы рассматриваются учащиеся, у которых показатель количества заданий, выполненных на платформе, ниже медианного, а в качестве экспериментальной — учащиеся с количеством заданий выше медианного, причем для групп ОГЭ, базового и профильного ЕГЭ эти показатели различаются.

Проведенное исследование показывает, что использование системы адаптивного обучения при подготовке учащихся к экзаменам ГИА по математике приводит к значимому размеру эффекта. При этом наиболее эффективным использованием платформы адаптивного обучения оказывается при подготовке учащихся со средним и низким уровнем владения математикой, которые и оказываются основным контингентом учащихся, сдающих базовый экзамен ЕГЭ (0,25 по шкале величины эффекта Хетти). В группе учащихся с высоким уровнем этот показатель составляет лишь 0,15. В группе учащихся 9-х классов, сдававших экзамен ОГЭ, этот показатель составил 0,21, что является значимой величиной эффекта.

Таким образом, проведенное исследование подтвердило эффективность использования системы адаптивного обучения при подготовке учащихся 9-х и 11-х классов к сдаче экзаменов ГИА по математике.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Paladines J. A systematic literature review of intelligent tutoring systems with dialogue in natural language / J. Paladines, J. A Ramirez // *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 246–267.
2. Taylor D. L. Personalized and adaptive learning. / D. L. Taylor, M. Yeung, A. Z. Bashet // *Innovative Learning Environments in STEM Higher Education: Opportunities, Challenges, and Looking Forward*. 2021. P. 17–34.
3. Katsaris I. Adaptive e-learning systems through learning styles. A review of the literature / I. Katsaris, N. Vidakis // *Advances in Mobile Learning Educational Research*. 2021. Vol. 1 (2). P. 124–145.
4. Shute V. J. Adaptive e-learning / V. J. Shute, B. Towle // *Educational Psychology*. American Psychological Association. 2018. P. 105–114.
5. Гальперин П. Я. К теории программированного обучения / П. Я. Гальперин. М.: Знание, 1967. 44 с.
6. Вайнштейн Ю. В. Педагогическое проектирование персонализированного адаптивного предметного обучения студентов вуза в условиях цифровизации: дис. ... д-ра пед. наук / Ю. В. Вайнштейн. Красноярск, 2021. 425 с.
7. Barria-Pineda J. Augmenting digital textbooks with reusable smart learning content: solutions and challenges / J. Barria-Pineda, A. B. Narayanan, P. Brusilovsky // *Proceedings of the Fourth International Workshop on Intelligent Textbooks*. 2022. Vol. 3192. P. 77–91.
8. Brusilovsky P. AI in education, learner control, and human-AI collaboration / P. Brusilovsky // *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2023. August. P. 1–4.
9. Implementation of adaptive learning at higher education institutions by means of Moodle LMS / N. Morze [et al.] // *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1840, № 1. P. 12–62.
10. Howard L. Adaptive blended learning environments / L. Howard, Z. Remenyi, G. Pap // *International Conference on Engineering Education*. 2006. P. 23–28.
11. Ярмахов Б. Б. Параметры готовности учителей к использованию адаптивных цифровых учебников в обучении / Б. Б. Ярмахов // *Педагогическая инноватика и непрерывное образование в XXI веке: сборник научных трудов I Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Киров: Вятский ГАТУ, 2023. С. 224–227.
12. Mitrovic A. Intelligent tutors for all: constraint-based modeling methodology, systems and authoring / A. Mitrovic, B. Martin, P. Suraweera // *IEEE Intelligent Systems*. 2007. Vol. 22 (4). P. 38–45.
13. Шмуклер А. И. Параметры оценки эффективности использования адаптивных систем в образовании / А. И. Шмуклер, Б. Б. Ярмахов // *Педагогическая инноватика и непрерывное образование в XXI веке: сборник научных трудов I Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Киров: Вятский ГАТУ, 2023. С. 214–217.
14. VanLehn K. The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems / K. VanLehn // *Educational Psychologist*. 2011. Vol. 46 (4). P. 197–221.
15. Hattie J. *Visible Learning for Teachers: Maximizing Impact on Learning* / J. Hattie. London: Routledge, 2012. 267 p.

16. Hubalovsky S. Assessment of the influence of adaptive e-learning on learning effectiveness of primary school pupils / S. Hubalovsky, M. Hubalovska, M. Musilek // *Computers in Human Behavior*. 2019. P. 691–705.
17. Ghergulescu I. Learning effectiveness of adaptive learning in real world context / I. Ghergulescu, C. Flynn, C. O. Sullivan // *EdMedia: World Conference on Educational Media and Technology*. 2016. P. 1385–1390.
18. Kulik J. A. Effectiveness of intelligent tutoring systems: a meta-analytic review / J. A. Kulik, J. D. Fletcher // *Review of Educational Research*. 2016. Vol. 86 (1). P. 42–78.
19. VanLehn K. The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems / K. VanLehn // *Educational Psychologist*. 2011. Vol. 46 (4). P. 197–221.

References

1. Paladines J., Ramirez J. A systematic literature review of intelligent tutoring systems with dialogue in natural language // *IEEE Access*. 2020 Vol. 8. P. 246–267.
2. Taylor D. L. Personalized and adaptive learning. / D. L. Taylor, M. Yeung, A. Z. Basset // *Innovative Learning Environments in STEM Higher Education: Opportunities, Challenges, and Looking Forward*. 2021. P. 17–34.
3. Katsaris I. Adaptive e-learning systems through learning styles. A review of the literature / I. Katsaris, N. Vidakis // *Advances in Mobile Learning Educational Research*. 2021. Vol. 1 (2). P. 124–145.
4. Shute V. J. Adaptive e-learning / V. J. Shute, B. Towle // *Educational Psychology*. American Psychological Association. 2018. P. 105–114.
5. Galperin P. Ya. On the theory of programmed learning / P. Ya. Galperin. M.: Znanie, 1967. 44 p.
6. Weinstein Yu. V. Pedagogical design of personalized adaptive subject-based education for university students in the context of digitalization: diss. ... Doctor of Pedagogical Sciences / Yu. V. Weinstein. Krasnoyarsk, 2021. 425 p.
7. Barria-Pineda J. Augmenting digital textbooks with reusable smart learning content: Solutions and challenges / J. Barria-Pineda, A. B. Narayanan, P. Brusilovsky // *Proceedings of the Fourth International Workshop on Intelligent Textbooks*. 2022. Vol. 3192. P. 77–91.
8. Brusilovsky P. AI in education, learner control and human-AI collaboration / P. Brusilovsky // *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2023. P. 1–4.
9. Implementation of adaptive learning at higher education institutions by means of Moodle LMS / N. Morze [et al.] // *Journal of physics: Conference series*. 2021. Vol. 1840. № 1. P. 12–62.
10. Howard L. Adaptive blended learning environments / L. Howard, Z. Remenyi, G. Pap // *International Conference on Engineering Education*. 2006. P. 23–28.
11. Yarmakhov B. B. Parameters of teachers' readiness to use adaptive digital textbooks in teaching / B. B. Yarmakhov // *Pedagogical Innovation and Continuing Education in the XXI Century: a Collection of Scientific Papers of the I All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*. Kirov: Vyatka GATU, 2023. P. 224–227.
12. Mitrovic A. Intelligent tutors for all: constraint-based modeling methodology, systems and authoring / A. Mitrovic, B. Martin, P. Suraweera // *IEEE Intelligent Systems*. 2007. Vol. 22 (4). P. 38–45.

13. Shmukler A. I. Parameters for evaluating the effectiveness of the use of adaptive systems in education / A. I. Shmukler, B. B. Yarmakhov // *Pedagogical Innovation and Continuing Education in the XXI Century: a Collection of Scientific Papers of the I All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation*. Kirov: Vyatka GATU, 2023. P. 214–217.
14. VanLehn K. The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems / K. VanLehn // *Educational Psychologist*. 2011. Vol. 46 (4). P. 197–221.
15. Hattie J. *Visible Learning for Teachers: Maximizing Impact on Learning* / J. Hattie. London: Routledge, 2012. 267 p.
16. Hubalovsky S. Assessment of the influence of adaptive e-learning on learning effectiveness of primary school pupils / S. Hubalovsky, M. Hubalovska, M. Musilek // *Computers in Human Behavior*. 2019. P. 691–705.
17. Ghergulescu I. Learning effectiveness of adaptive learning in real world context / I. Ghergulescu, C. Flynn, C. O. Sullivan // *EdMedia: World Conference on Educational Media and Technology*. 2016. P. 1385–1390.
18. Kulik J. A. Effectiveness of intelligent tutoring systems: a meta-analytic review / J. A. Kulik, J. D. Fletcher // *Review of Educational Research*. 2016. Vol. 86 (1). P. 42–78.
19. VanLehn K. The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems / K. VanLehn // *Educational Psychologist*. 2011. Vol. 46 (4). P. 197–221.

Статья поступила в редакцию: 15.11.2023;
одобрена после рецензирования: 09.01.2024;
принята к публикации: 16.01.2024.

The article was submitted: 15.11.2023;
approved after reviewing: 09.01.2024;
accepted for publication: 16.01.2024.

Информация об авторах / Information about authors:

Борис Борисович Ярмахов — кандидат философских наук, доцент, доцент департамента информатизации образования, Институт цифрового образования, Московский городской педагогический институт, Москва, Россия.

Boris B. Yarmakhov — Candidate of Philosophical Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Informatization of Education, Institute of Digital Education, Moscow City University, Moscow, Russia.

yarmakhovbb@mgpu.ru

Зайцев Алексей Иванович — доктор философских наук, генеральный директор компании «01Математика образование», Москва, Россия.

Zaitsev Alexey Ivanovich — Doctor of Philosophy, General Director of LLC “01Mathematics Education”, Moscow, Russia.

azaytsev@01math.com

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.