

Персонализация в образовании: от программируемого к адаптивному обучению

Кравченко Д.А.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0556-1723>, e-mail: dakravchenko@hse.ru*

Блескина И.А.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8450-1966>, e-mail: ibleskina@hse.ru*

Каляева Е.Н.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6063-2681>, e-mail: ekalyaeva@hse.ru*

Землякова Е.А.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2701-3704>, e-mail: eazemlyakova@hse.ru*

Аббакумов Д.Ф.

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ),
г. Москва, Российская Федерация
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0848-2537>, e-mail: dabbakumov@hse.ru*

Адаптивное обучение — это обучение, ход которого оперативно, непрерывно подстраивается к индивидуальным особенностям студентов. Наше исследование представляет собой обзор литературы, который включает в себя краткий анализ предпосылок возникновения, основных современных подходов и методов реализации, образовательного потенциала адаптивных платформ и направлений будущего развития адаптивного обучения. Обзор литературы позволил описать и проанализировать основные этапы развития обучения: от программируемого к адаптивному. Его результаты направлены на то, чтобы помочь исследователям и разработчикам получить общее и всестороннее представление об адаптивном обучении и тенденциях его развития.

Ключевые слова: адаптивное обучение, программируемое обучение, обзор литературы, адаптивные образовательные платформы.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-113-50415.

Для цитаты: Персонализация в образовании: от программируемого к адаптивному обучению [Электронный ресурс] / Д.А. Кравченко, И.А. Блескина, Е.Н. Каляева, Е.А. Землякова, Д.Ф. Аббакумов // Современная зарубежная психология. 2020. Том 9. № 3. С. 34—46. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090303>

Personalization in education: from programmed to adaptive learning

Daria A. Kravchenko

*National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0556-1723>, e-mail: dakravchenko@hse.ru*

Irina A. Bleskina

*National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8450-1966>, e-mail: ibleskina@hse.ru*

Ekaterina N. Kalyaeva

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6063-2681>, e-mail: ekalyaeva@hse.ru

Elizaveta A. Zemlyakova

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2701-3704>, e-mail: eazemlyakova@hse.ru

Dmitry F. Abbakumov

National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0848-2537>, e-mail: dabbakumov@hse.ru

Adaptive learning is a learning service that adapts quickly and continuously to the individual characteristics of students. Our study is a literature review that includes a brief analysis of the history of development, the main modern approaches and methods of implementation, the educational potential of adaptive platforms and the directions of the future development of adaptive learning. The literature review allowed us to describe and analyze the main stages of learning development: from programmable to adaptive. Its results are aimed at helping researchers and developers gain a general and comprehensive understanding of adaptive learning and its development trends.

Keywords: adaptive learning, programmed learning, a review of the literature, adaptive learning platform.

Funding. The reported study was funded by Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project number № 19-113-50415

For citation: Kravchenko D.A., Bleskina I.A., Kalyaeva E.N., Zemlyakova E.A., Abbakumov D.F. Personalization in education: from programmed to adaptive learning. *Journal of Modern Foreign Psychology = Journal of Modern Foreign Psychology*, 2020. Vol. 9, no. 3, pp. 34—46. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2020090303> (InRuss.).

Введение

Мы живем в эпоху искусственного интеллекта, идея которого основана на том, что системы могут обучаться на основе данных, выявлять закономерности и принимать решения с минимальным вмешательством человека. Благодаря развитию современных методов анализа данных активно развивается автоматизация учебного процесса.

Одной из технологий автоматизации в образовании является адаптивное обучение, которое представляет собой решения, автоматизировано настраивающие ход обучения, содержание, трудность, формат и другие характеристики контента и учебной среды в соответствии с индивидуальными различиями студентов. Адаптивное обучение повышает результативность обучающихся, например, количество более высоких баллов, мотивацию к обучению, вовлеченность в процесс обучения. В том числе адаптивное обучение снижает показатели отсева студентов [7].

Понятие «адаптивное обучение» ввел английский исследователь Г. Паск в 60-х гг. XX в. Он понимал его как обучение, ход которого оперативно, непрерывно подстраивается к индивидуальным особенностям процесса усвоения информации [32].

Уже в 1950—1960 гг. использовали различные алгоритмы программированного обучения, предложенные такими учеными, как Б.Ф. Скиннер, Г. Паск и Н. Краудер и др. [17; 32; 34]. Рост популярности адаптивного обучения в 70-е гг. связывают с появлением компьютерной системы SCHOLAR [12].

В мировой практике можно выделить две школы адаптивного обучения: зарубежную и отечественную. Зарубежная

школа рассматривает адаптивное обучение с позиции бихевиоризма. Отечественная — с точки зрения теории поэтапного формирования умственных действий. Западный подход предполагает разбиение процесса обучения на маленькие шаги и обучение следующим образом: если обучающимся усвоен учебный материал, он получает подкрепление в виде оценки/вознаграждения, что создает стимул для дальнейшего обучения и выполнения требуемых действий. Отечественный подход отличается от западного присутствием в нем идеи об управлении внутренними (умственными) процессами наряду с внешними: выделением логических и рациональных приемов и способов мышления.

В современных исследованиях ученые описывают адаптивное обучение как технологию и как процесс. П. Керр описал адаптивное обучение как образовательную технологию, цель которой — создание «автоматизированного, динамического и интерактивного» контента [25]. Дж.М. Ловендаль и коллеги определили адаптивное обучение как процесс, который «... динамически корректирует способ представления учебного контента студентам на основе их ответов на встроенные задания или на основе их предпочтений (например, визуальное представление материалов)» [26].

Будь то технология или процесс, адаптивное обучение приводит к получению уникального опыта обучения с учетом индивидуальных различий для улучшения процесса обучения и развития навыков студентов в различных учебных ситуациях. Адаптивное обучение может быть реализовано путем разработки адаптивных веб-приложений и систем, обеспечивающих обратную связь на основе дизайна и стилей обучения.

Существуют различия в фокусе исследований адаптивного обучения. Исследователи предлагают при разработке адаптивной системы учитывать характеристики студентов: (1) базовые знания — это минимальные знания по изучаемой дисциплине; (2) когнитивные стили или стили мышления — это устойчивые способы познавательной деятельности; (3) стили обучения — привычки, которые основаны на индивидуальных особенностях; (4) метакогнитивные знания — это межличностное знание о личных когнитивных процессах в сравнении с возможностями других людей; (5) предпочтения студента; (6) поведение студента (просмотры материалов или видео, ответы на тестовые задания и т. п.); (7) профиль студента — персональные данные студента (пол, возраст и т. п.); (8) способности студента — это психологические особенности, которые определяют успех приобретения знаний, умений и навыков; (9) интересы студента — это потребность узнать что-то новое об объекте интереса [14; 27]. Они предпринимают попытки разработать новые адаптивные образовательные технологии для обучения различным дисциплинам.

Кроме эмпирических исследований, существует немало обзоров литературы, в центре внимания которых — различные особенности адаптивного обучения. Ученые предлагают следующие обзоры: существующих адаптивных образовательных гипермедиа (adaptive educational hypermedia — АЕН) с анализом адаптивных системах обучения, основанных на интеллектуальных и когнитивных способностях студентов; наиболее часто используемых характеристик студентов (объем памяти, познавательные способности, базовые знания, интерес и другие), под которые можно подстраивать адаптивное обучение; работ об эффективности адаптивных систем обучения (адаптивные гипермедиа, веб-системы, интеллектуальные системы обучения) и уровне удовлетворенности при их использовании [24].

Несмотря на существование обзоров по теме адаптивного обучения, на сегодняшний день нам не удалось найти обзоров, раскрывающих в рамках одной работы такие аспекты, как развитие адаптивного обучения во временной перспективе, описание основных современных подходов к реализации, мировые практики внедрения в современное образование и направления развития. Нет таких обзоров, которые бы все перечисленное охватили.

Обнаруженные обзоры рассматривали существующие технические способы и методы реализации адаптивного обучения. Вместе с тем идеи об адаптивном обучении зародились существенно раньше. Еще в первом веке до нашей эры встречались упоминания об индивидуальном обучении [30]. Поэтому целью нашей работы является анализ литературы, позволяющий проследить историческую трансформацию программированного обучения в адаптивное.

Анализ результатов



Рис. 1. Ключевые этапы исторического развития адаптивного обучения

Идеи, которые привели к адаптивному обучению, каким принято считать его сегодня, начали закладываться еще в XVII в. Я.А. Коменским (1592—1670 гг.) — основоположником научной педагогики, автором принципов обучения и классно-урочной системы обучения. Я.А. Коменский отмечал, что дети различаются по темпам развития и что новые знания, получаемые ребенком, должны соответствовать его способностям и уровню развития.

Я.А. Коменский был первым, кто предложил организовать процесс обучения, учитывая индивидуальные особенности ребенка: его способность к обучению, физиологические и психологические характеристики.

Следующим этапом развития адаптивного обучения можно считать 1950—1960-е гг. Одним из исследователей, сделавших значительный вклад в развитие адаптивного обучения в 1950—1960-е гг., является Б.Ф. Скиннер (1904—1990 гг.) — автор теории программированного обучения, линейного алгоритма обучения и основоположник западной школы адаптивного обучения. Программированное обучение, согласно этой теории, можно определить как метод обучения, который предполагает использование специального оборудования (обучающих машин) для самостоятельного обучения через пошаговое усвоение учебного материала. А линейный алгоритм обучения предполагает обучение через простую пошаговую процедуру: существует один набор заданий, которые студент последовательно выполняет после освоения учебных материалов до конца программы.

Б.Ф. Скиннер разработал «обучающую машину», которая обеспечивала индивидуальное обучение через оперантное обусловливание¹ в учебной среде. Обучающая машина Б.Ф. Скиннера представляла собой устройство, состоявшее из картонных карточек, на которых были напечатаны математические задачи,

¹ Оперантное обусловливание — это метод обучения, который реализуется через вознаграждение и наказание индивида за определенное поведение (операнты — выработанные паттерны или формы поведения; подкрепление — положительное следствие такого поведения). Оперантное обусловливание позволяет индивиду установить связь между конкретным поведением и его следствием [37].

и подвижного рычага, с помощью которого данные о правильности выполненного задания выводились в прозрачном окошке. Если ответ был верным, рычаг двигался, и появлялась следующая задача. Если ответ был неверным, рычаг не двигался, и студенту необходимо было попытаться вновь решить задание. Таким образом, правильное выполнение заданий создавало стимул — побуждало студента двигаться дальше с помощью подкрепления в виде правильных ответов, которые появлялись в прозрачном окошке, позволяя в итоге овладеть учебным материалом по данной теме [34]. Обучающие машины позволяли организовать индивидуальное обучение, но они не учитывали предыдущие знания студентов и их индивидуальные различия [41].

Исследователем, который смог решить эту проблему, был Н. Краудер (1921—1998 гг.). Этот ученый разработал разветвленный алгоритм программированного обучения, который основывался на ответе студента на вопрос. Ответ студента использовался для определения того, как студент изучил предыдущий учебный материал и какой материал ему необходимо предоставить следующим. Также ответ студента отражал его уровень знаний, и алгоритм был разработан для адаптации учебного материала к этому уровню. В отличие от линейного, разветвленный алгоритм обучения более сложный: студенты отвечают на задания с несколькими вариантами ответов, после чего им предлагается перейти на следующий этап в зависимости от их ответа [17]. Однако алгоритм Н. Краудера не получил широкого применения в учебных целях ввиду сложности этой разработки.

Другой исследователь, работавший над созданием алгоритма адаптивного обучения, Г. Паск (1928—1996), создал алгоритм адаптивного обучения, в котором задания различались по уровню трудности для разных студентов. Задания постепенно усложнялись до тех пор, пока студент не допускал ошибку, после чего алгоритм делал задание легче и давал студенту возможность дополнительной практики по этому заданию, далее уровень сложности вновь начинал расти. Так, в 1956 г. Г. Паском и Р. Маккиннон-Вудом был изобретен прибор SAKI (Self-adaptive Keyboard Instructor) — первая система адаптивного обучения, которая была запущена в коммерческое производство [32]. В отличие от предшествующих обучающих машин, SAKI предоставляет не только оценку правильности или неправильности выполненного задания, но также измеряет параметры ответа студента, например, время, затраченное на ответ, на основании чего определяется и корректируется следующее задание.

Отечественные исследователи наряду с западными изучали адаптивное и программированное обучение.

В 60—70-е гг. программированное обучение стало развиваться в работах Л.Н. Ланды (1927—1999) — автора отечественной теории программированного обучения. Л.Н. Ланда ввел в психологию понятие алгоритма умственных действий и показал, как концепция алгоритмизации может применяться для решения задач

обучения. Ключевым аспектом алгоритмически-эвристической теории Л.Н. Ланды является то, что алгоритмически-эвристические принципы могут передаваться через алгоритмы — правила, предписывающие последовательность действий или конкретные инструкции для решения задач [1].

Данной тематикой занимались и другие отечественные исследователи, например, П.Я. Гальперин (1902—1988) — автор теории поэтапного формирования умственных действий. Основная идея теории П.Я. Гальперина заключается в описании формирования умственной деятельности как поэтапного процесса, который предполагает 6 этапов: 1) мотивационная основа действия; 2) объяснение преподавателя; 3) внешнее действие (выполнение студентами действия); 4) речевое действие (отработка действия во внешней речи); 5) умственное действие (проговаривание действия «про себя»); 6) осуществление действия «в уме» [22].

Теория П.Я. Гальперина послужила основой для разработки принципов программированного обучения Н.Ф. Талызиной (1923—2018). Она предложила использовать подход к разработке программируемого обучения, который будет состоять из измеряемой цели обучения; учебного материала, разделенного на небольшие части, которые будут осваиваться поэтапно небольшими шагами; самопроверки по итогам каждого этапа (шага) освоения учебного материала; использования какого-либо технического средства (обучающей машины) [2].

В 1970—1980 гг. наблюдалось сильное развитие когнитивных теорий, описывающих процесс обучения человеческого мозга, компьютерных технологий и искусственного интеллекта и их применение в сфере образования, что сделало возможным разработку автоматизированных систем адаптивного обучения [12].

В 1984 г. Б. Блум (1913—1999) опубликовал исследование о «проблеме двух сигм», в котором описал эксперимент, в рамках которого студенты были разделены на три группы, обучаемые тремя разными способами: 1) контрольная группа, которая обучалась в классе (проводились тесты знаний); 2) группа, которая обучалась в классе с использованием техник формирующего оценивания (использовались тесты контрольной группы) и корректирующих процедур (после тестов следуют корректирующие процедуры, которые позволяют определить, как студенты усвоили предмет); 3) группа, студенты которой обучались индивидуально (или в группах по 2—3 человека) и в которой использовались те же методы обучения, что и во второй группе. В результате Б. Блум обнаружил, что средний студент, обучаемый индивидуально, показал результаты на два стандартных отклонения (или 98%) выше среднего студента контрольной группы, обучаемого традиционным методом, а средний студент второй группы показал результат на одно стандартное отклонение выше среднего студента контрольной группы [8].

С развитием искусственного интеллекта стали появляться и развиваться различные системы адаптивного обучения.

В начале 1990-х гг. появились адаптивные гипермедиа системы, в которых адаптивные интерфейсы и интерфейсы на основе пользовательских моделей были интегрированы в гипермедиа системы. Одним из первых отечественных исследователей, занимавшихся разработкой адаптивных гипермедиа систем, является П. Брусиловский. Ученый со своей исследовательской группой разработал адаптивные гипермедиа системы, целью которых является организация адаптивной навигационной поддержки пользователей по веб-странице. Адаптивные гипермедиа пытаются решить эту проблему, используя пользовательские модели для адаптации информации и ссылок под потребности каждого пользователя [10].

Попытки разработать теории и системы адаптивного обучения начались давно, однако при их реализации исследователи столкнулись с рядом трудностей. К таким трудностям относятся ограниченность диапазона и адаптивности разработанных инструментов и систем по сравнению со стратегиями, разрабатываемыми преподавателями-экспертами, невозможность включить многие ценные принципы обучения и т. п. Частично справиться с этими трудностями стало возможным с появлением современных моделей адаптивного обучения.

В целом, ученые выделяют три основные модели адаптивного обучения: модель студента, контента и обучения. Модель студента — это предоставление информации об отдельном студенте, которая необходима для адаптивной системы. Модель включает данные, предоставленные непосредственно студентами (например, персональные данные), информацию об успеваемости студента, о темах и тестах, которые студент уже изучил и выполнил, о просмотрах видео, чтении дополнительных материалов и оценках, а также другие. Система использует эту информацию для прогнозирования поведения студента и ее адаптации к индивидуальным потребностям студента [27]. Методы адаптации учебного материала на основе модели студента популярны, потому что существует точка зрения, что адаптивная система может быть эффективной только в том случае, если она способна подстраиваться под студентов с разным набором персональных характеристик [6]. Модель обучения, также известная как педагогическая модель, помогает адаптировать обучение на основе модели студента и обеспечивает фундамент для принятия решений о том, какой контент должен быть предоставлен студенту (скорость, формат, последовательность предоставления материалов и пр.). Модель контента основана на его характеристиках и осуществляет поиск подходящих учебных ресурсов, которые соответствуют потребностям и предпочтениям пользователей [27].

В основе моделей лежат различные алгоритмы и методы анализа данных. Современные исследования фокусируются на нескольких подходах к реализации адаптивного обучения. Одним из подходов является построение образовательного процесса с учетом различных характеристик студентов. Например, Т. Ян с колле-

гами в своем исследовании предложили разрабатывать адаптивную систему с учетом стилей обучения студентов (активный/рефлексивный, сенситивный/интуитивный, визуальный/вербальный, последовательный/глобальный). Студенты с визуальным стилем обучения лучше всего запоминают то, что они видят, например, на изображениях; с вербальным стилем обучения предпочитают текстовое описание, письменные и устные объяснения; с сенситивным стилем обучения хорошо запоминают факты и предпочитают решать проблемы общепринятыми методами; с интуитивным стилем обучения предпочитают новаторские идеи и не любят повторять одно и то же; с последовательным стилем обучения склонны идти логическим пошаговым путем при поиске решений; с глобальным стилем обучения быстрее ищут решение, когда понимают общую картину, и склонны учиться большими скачками. Студентам экспериментальной группы системой были предложены учебные блоки с подходящими для их стиля обучения материалами. Результаты показали, что обучение с использованием предложенного подхода адаптивного обучения принесло значительную пользу студентам по сравнению с подходом, основанным на традиционном стиле обучения [28].

Еще одним популярным подходом обеспечения адаптивности системы является сбор обратной связи студентов. Например, после того, как студент изучит материал определенного курса или части курса, его просят ответить по 5-балльной шкале Лайкерта на вопрос: «Как вы оцениваете сложность материалов курса?». Полученные баллы агрегируются с оценками других студентов, которые ранее ответили на этот вопрос. Используя оценки студентов, К.М. Чен и его коллеги предложили оценить уровень сложности материала курса с помощью взвешенной суммы оценки его трудности экспертами и обратной связи студентов [13].

Модели адаптивного обучения могут быть реализованы с помощью различных алгоритмов. Например, при разработке адаптивной системы используют генетический алгоритм, который позволяет подобрать оптимальную для достижения студентом учебную цель на основе его поисковых запросов и поведения в социальных сетях (Facebook, Twitter) [23]. К. Хрисафиади с коллегами предлагают многокритериальный алгоритм. Алгоритм опирается на такие критерии: базовые знания; стиль обучения (визуальный — обучение с применением изображений; аудиальный — обучение с применением аудиофайлов; кинестетический — обучение при помощи физической активности) [15]; тип и трудность заданий; учебные цели, на достижение которых направлены задания. Алгоритм способен адаптировать контент к потребностям студентов на основе перечисленных критериев.

Ю. Ван и Х.К. Ляо был предложен пятиступенчатый алгоритм, основанный на четырех факторах (пол, низкий, средний и высокий уровни мотивации обучения, полнезависимый и полнезависимый когнитивные стили и интеллектуальный и чувственный стили обу-

чения) как различных характеристиках студента. Авторы исследовали проблему фиксированных последовательностей предъявления учебного материала при изучении английского языка. Для студентов с разными наборами характеристик были выявлены оптимальные обучающие последовательности, которые должны быть предложены при изучении языка [39].

Как уже сказано, в основе моделей адаптивного обучения лежат различные методы анализа данных. Например, метод машинного обучения (ML) является одним из наиболее часто используемых при разработке адаптивных систем. Машинное обучение (англ. Machine learning, ML) — класс методов искусственного интеллекта, основной характеристикой которых является не прямое решение задачи, а обучение в процессе применения решений множества сходных задач. Алгоритмы машинного обучения позволяют анализировать учебный контент по множеству заданных параметров, предлагать оптимальный формат учебных материалов (видео, материалы для чтения, кейсы, тесты и т. п.) и уровень их сложности. Одновременно алгоритмы машинного обучения могут анализировать знания студента (данные пре-теста, выполнение оцениваемых и не оцениваемых заданий в курсе), ритм его работы (потраченное время на обучение, на выполнение задания, частота обучения и т. п.). Эти данные могут инициировать и реализовать возможность автоматизировано предлагать студенту подходящие ему элементы контента: интерактивное упражнение, тест, игру, обучающее видео и т. п. [3].

Одной из наиболее важных проблем, с которыми сталкиваются при построении модели поведения студента с помощью алгоритмов машинного обучения, является неопределенность. Обучение и диагностика студента зависят от разных факторов, которые являются, как правило, неизмеряемыми. Наиболее распространенными методами для решения проблемы такого рода считаются метод нечетких множеств (fuzzy logic — нечеткая логика) и байесовские методы.

Метод нечетких множеств позволяет уйти от категоричности в обычной логической системе; состояниями нечеткой логики могут быть не только 1 или 0, но и значения между ними, т. е. 0,15, 0,8 и т. д. Именно благодаря своей способности решать проблему неопределенности, метод нечетких множеств используется в сочетании с другими алгоритмами машинного обучения для создания моделей поведения, которые способны управлять неопределенностью поведения студента.

Также не так давно стали использовать байесовские методы анализа данных (Bayesian Knowledge Tracing (BKT)). Байесовская сеть (Pearl, 1988) — это графическая модель, которая кодирует вероятностные отношения между интересующими переменными. Такие модели помогают управлять неопределенностью при моделировании поведения студента, что необходимо, поскольку мы делаем выводы о будущих действиях студента. Чаще всего байесовские сети используют для

точного прогнозирования уровня знаний студентов в конкретные периоды времени на основе их предыдущего опыта обучения, однако их использование требует существенных вычислительных ресурсов.

Для моделирования поведения студента в адаптивных системах используют также методы, основанные на онтологии. Онтология — это точная спецификация некоторой предметной области. С помощью онтологии в адаптивном обучении предпринимаются попытки формализовать некоторые области знаний с использованием концептуальной схемы. Одним из распространенных языков для работы с онтологиями является язык веб-онтологии (OWL — Web Ontology Language). Этот язык позволяет описывать классы и отношения между ними, присущие веб-документам и веб-приложениям. Методы, основанные на онтологиях, могут использоваться для моделирования поведения студентов, поиска решений для описания предпочтений студентов в обучении и индексации различных образовательных ресурсов.

Для реализации адаптивного обучения используют и психометрические математические модели. Например, модель современной теории тестирования (Item Response Theory). Самой известной моделью является модель Раша, суть которой заключается в следующем: вероятность, что студент решит задание, выражается как некоторая функция от подготовленности студента и трудности задания. То есть вероятность правильного ответа на задание увеличивается, когда подготовленность студента растет. Современная теория тестирования используется в адаптивном обучении [40], чтобы выбрать подходящий по уровню элемент контента для конкретного студента.

С точки зрения пользователя адаптивное обучение может быть реализовано с помощью адаптивных рекомендаций или адаптации контента. Адаптивные рекомендации являются наиболее популярной технологией адаптивного обучения. Это важно, так как актуальной проблемой для адаптивного обучения является эффективная рекомендация учебных материалов. Адаптивные рекомендации позволяют студенту спланировать эффективный персональный учебный путь — так система учитывает особенности каждого студента с помощью оценки его слабых и сильных сторон.

В адаптивном обучении используется несколько методов для создания рекомендаций студентам или пользователям. Первый из них — коллаборативная фильтрация (collaborative filtering), которая направлена на выявление студентов с похожими схемами обучения и использование этих данных для создания рекомендаций другим студентам. Второй метод основан на контенте (content-based). Процесс предоставления рекомендаций на основе контента заключается в сопоставлении признаков профиля студента/пользователя, в котором сохраняются предпочтения и интересы, с признаками элементов контента [5].

Также адаптивное обучение может быть реализовано с помощью использования адаптивного тестирова-

ния. Это форма компьютерного тестирования, в которой следующее задание или набор заданий, выбранных для предъявления студенту, зависит от правильности его ответов на последние выполненные задания [29]. Так как целью нашего исследования является представление обзора литературы об адаптивном обучении, мы не будем детально останавливаться на компьютерном адаптированном тестировании.

Популяризация современного адаптивного обучения связана с развитием цифровых технологий, которые являются одним из важных инструментов, обеспечивающих студентам доступ к различным образовательным ресурсам, необходимостью и актуальностью индивидуализации обучения. Массовизация адаптивного обучения требует разработки современных сред для адаптивного обучения. Сегодня такой средой является адаптивная платформа — цифровая система, которая в своей основе использует адаптивные алгоритмы с элементами искусственного интеллекта и машинного обучения для персонализации обучения. Одной из первых адаптивных платформ была платформа Lexia Learning, которая основана в 1984 г. История создания платформы связана с заболеванием дислексией в развитии сына Б. Лемира — одного из основателей платформы. С индивидуальным, персонализированным обучением ребенок смог достичь больших успехов в чтении. Поэтому осознавая, что многие семьи с подобными проблемами могут не обладать соответствующими ресурсами для организации индивидуального обучения, Б. Лемир со своим другом врачом-неврологом и руководителем клиники чтения инициировали создание платформы персонализированного обучения совместно с экспертом в области технологий. С дальнейшей популяризацией персонализированного, индивидуального обучения и развитием информационных технологий, число адаптивных платформ, включающих одну или несколько систем, методов и алгоритмов адаптивности, стало расти и сегодня насчитывает десятки адаптивных платформ. Одним из преимуществ адаптивных платформ, которое обуславливает рост их популярности, выступает повышение вовлеченности в процесс обучения [18]. Мировыми лидерами (самыми крупными и востребованными) адаптивными платформами являются: <https://www.smartsparrow.com>, <https://www.knewton.com>, <https://www.oefenweb.nl>, <https://www.dreambox.com>, <https://mathspace.co/us>, <https://www.cogbooks.com>, <https://www.aleks.com>, <http://www.i-ready.com>, <https://www.pearsonmylabandmastering.com>, <https://www.fishtree.com>, <https://www.mheducation.com>, <https://www.lexialearning.com>, <https://www.datacamp.com>.

Перечисленные платформы реализуют адаптивность через: 1) обратную связь (Smart Sparrow, Knewton, DataCamp, oefenweb, Pearson My Lab&Mastering); 2) адаптацию контента (все перечисленные платформы); 3) аналитические дашборды и отчеты о прохождении курса для преподавателей и студентов (ALEKS, Fishtree, i-ready, Learn Smart от компании McGraw-Hill

Education, lexialearning); 4) формат игры (oefenweb, dreambox); 5) формирующее оценивание (dreambox, cogbooks).

В настоящей работе не ставится задача обстоятельного рассмотрения технологий, которые используют перечисленные платформы. Для того чтобы познакомиться со своей платформой потенциальных клиентов, которые только начинают знакомство с идеей адаптивности, существуют «белые книги» (White papers), в которых раскрываются базовые принципы адаптивного обучения и преимущества каждой отдельной платформы.

В настоящей работе мы сосредоточились на научных работах, которые фокусируются на исследовании эффектов адаптивности на примере обучения на адаптивных платформах. Все найденные работы можно объединить в три группы: 1) исследования эффективности обучения на адаптивных платформах; 2) исследования пользовательского опыта обучения студентов на адаптивных платформах; 3) разработка новых технических решений на основе работы с адаптивными платформами.

Исследователи в первой группе фокусируются на эффективности использования адаптивных платформ. При этом эффективность может пониматься как пользовательская оценка эффективности или как повышение успеваемости по сравнению с традиционным обучением. Для пользовательской оценки эффективности авторы применяют методы опросов, интервью и фокус-групп со студентами. К. Линден, Л. Пембертон и Л. Вебстер в своем исследовании по эффективности изучения химии на платформе Smart Sparrow выяснили, что студенты во время обучения отмечают повышение мотивации к изучению химии и позитивно воспринимают гибкость в обучении [11].

Другие авторы делают вывод об эффективности адаптивного обучения на основе сравнения итоговых оценок при обучении онлайн и с использованием адаптивных платформ. Так, Дж. Ф. Эйхлер и Дж. Пиплс в своем исследовании сравнивали итоговые оценки за экзамен по химии трех групп студентов — одна группа студентов выполняла домашние задания онлайн, вторая — на адаптивной платформе ALEKS, третья группа не выполняла домашних заданий. Исследование показало, что на итоговом экзамене успеваемость студентов, которые выполняли домашние задания на адаптивной платформе ALEKS, повысилась на 13 баллов по сравнению с теми, кто не выполнял домашних заданий. Авторы еще двух исследований подтверждают улучшение оценок с использованием адаптивных платформ [9]. Однако похожее исследование с использованием адаптивного курса Pearson Mastering Engineering показало противоположные результаты — выполнение домашних заданий на адаптивной платформе не повышает итоговую оценку по курсу инженерной механики [22].

Нам представляется наиболее предпочтительным метод оценки эффективности обучения с помощью адаптивных платформ, который объединяет в себе как

пользовательскую оценку, так и сравнение успеваемости. Результаты таких исследований показали повышение эффективности обучения на адаптивных платформах по сравнению с традиционным обучением. Например, Дж. Чжун на основе опросов и оценок итогового теста показал, что у студентов появляется больше возможностей практиковаться с помощью адаптивных учебных модулей Smart Sparrow, что, в свою очередь, повышает их мотивацию к обучению и успеваемость [43]. Ряд авторов сообщают, что эффективность обучения на платформе ALEKS выше, как с точки зрения обратной связи от студентов, так и баллов за тестирование по сравнению с традиционным обучением в курсах по математике [35], по общей химии [20] и по изучению цитологии шейки матки на платформе Smart Sparrow [38]. В то же время существуют исследования, которые не подтверждают эффективность использования адаптивных платформ с точки зрения повышения баллов за тестирование по сравнению с традиционным или онлайн-обучением [16].

Вторая группа статей сосредоточена на индивидуальных особенностях студентов и их пользовательском опыте обучения с помощью адаптивной платформы. Одни авторы фокусируются на оценке удовлетворенности студентов обучением на адаптивной платформе и делают вывод, что использование интерактивных учебных пособий на платформе Learn Smart от McGraw-Hill повышает удовлетворенность студентов обучением [37]; а на платформе Smart Sparrow студенты оказались более удовлетворены выполнением домашних заданий, чем в традиционном формате [19].

Другие авторы на основе данных о прохождении студентами курса выделяют 4 модели, которые студенты используют во время обучения [28]: неустойчивое обучение или *suspicious learning* (наблюдаются короткие всплески аномально быстрого прогресса, когда материал проходит за обучающегося кто-то другой), прокрастинация или *scramming* (студенты увеличивают скорость обучения, например, перед важным экзаменом), плато обучения или *plateaued learning* (обучение значительно замедлилось или полностью прекратилось) и нормальная модель или *normal* (остальные студенты).

В одном из исследований этой группы авторы сосредоточились на исследовании «настойчивости» в обучении — завершаемости курса, несмотря на трудности и преграды [31]. Авторы выделили 3 модели поведения студентов на платформе ALEKS, связанного с постоянством обучения: 1) высокая настойчивость и редкая смена тем; 2) переключение и частая смена тем; 3) умеренная настойчивость и умеренная смена тем [31].

Третья группа исследований предлагают новые технические решения на основе работы с адаптивными платформами. Ряд авторов предлагают новые алгоритмы прогнозирования оценок. Дж. Се и коллеги разработали модель для прогнозирования успеваемости студентов на основе стратегий поведения студентов в адаптивной онлайн-среде ALEKS [36]. Вероятностная

модель была предложена С. Редди и его коллегами, эта модель предназначена для рекомендации персонализированных последовательностей тем с целью помочь студентам подготовиться к получению желаемых оценок [33]. Еще одна модель призвана усовершенствовать работу платформы ALEKS и представляет собой алгоритм, который предсказывает, когда тестирование обучающегося может быть прекращено [28].

Выводы

Несмотря на популяризацию применения адаптивного обучения в современном образовании, его внедрение в учебную программу требует беспрецедентного изменения образовательной парадигмы. Адаптивное обучение является некоторым отклонением от традиционных педагогических методов, тем не менее, современное образование находится в ожидании того, что со временем адаптация к уникальным потребностям студентов станет новой нормой.

Вероятно, развитие адаптивного обучения будет основано как на развитии технологий, так и на увеличении исследований адаптивного обучения. Сегодня задействован не весь исследовательский потенциал и остается довольно широкое направление будущих исследований с учетом меняющихся контекстов. Например, увеличение числа исследований с помощью качественных методов сможет расширить базу знаний об адаптивном обучении, с точки зрения изучения аспектов положительного влияния на обучение. Отмечается недостаток метааналитических исследований, целью которых был бы синтез эффектов адаптивного обучения. В то же время большинство публикаций фокусируются на студентах, поэтому наблюдается недостаток исследований на выборке работающих взрослых. Участие взрослых в адаптивном обучении могут способствовать адаптивные системы, базирующиеся на мобильных и переносных устройствах. Вместе с тем сбор персональных данных с мобильного устройства может улучшить дифференциацию обучения и вовлечения студентов, что, по мнению авторов, может стать новой тенденцией в адаптивном обучении [27].

На сегодняшний день существует множество работ об аналитике больших данных, вычислительной психометрике обучения и масштабируемости новых архитектур учебных сред [4; 20; 16; 9 и др.]. Эти достижения открывают новые возможности для реорганизации адаптивных систем обучения. В связи с активным развитием технологий, новых вычислительных методов анализа данных и опираясь на рассмотренные нами работы, мы считаем, что наиболее перспективными направлениями развития адаптивного обучения, являются:

- разработка динамических аналитических систем, которые обеспечивают обратную связь в момент непосредственного обучения для студентов и для преподавателей;

- использование вычислительных методов для анализа данных и создания новых математических алгоритмов, на работе которых будет выстраиваться принятие решений;

- использование новых методов оценки студентов, опирающиеся на поведение студента в учебной среде;

- перенос технологий, которые используются в других сферах деятельности (например, разработка и внедрение учебных рекомендательных чат-ботов).

Несмотря на вышеперечисленные перспективы развития и потенциал адаптивного обучения, существуют задачи, которые сегодня решаются успешно, и задачи, которые не удастся решить с помощью адаптивного обучения. Одной из сложных задач является задача внедрения адаптивного обучения в образовательный процесс, так как адаптивное обучение является дорогостоящей технологией, для внедрения которой необходимы большие затраты. Кроме денежных вложений, адаптивное обучение требует большого человеческого ресурса, так как для реализации адаптивности есть необходимость в разработке большого количества контента разной трудности. Адаптивное обучение в большинстве случаев реализовано для технических и математических дисциплин (STEM — Science, Technology, Engineering, Math). Использование адаптивного обучения в гуманитарных науках на данный момент ограничено, поэтому эффективность адаптивного обучения для разных дисциплин малоизучена.

Также сложной для решения задачей является операционализация и измерение некоторых характеристик студентов, например, стили обучения.

Существующие проблемы адаптивного обучения позволяют сформулировать несколько характеристик, которыми должна обладать адаптивная система будущего:

- быть экономически выгодной для разработки и поддержки;

- точной в оценке характеристик студентов и уровня знаний студентов;

- эффективно предоставлять рекомендации по определению оптимальных учебных материалов и активностей для каждого студента в конкретный момент времени;

- иметь возможность масштабирования для поддержки сотен тысяч, если не миллионов, одновременных пользователей;

- иметь гибкость в возможности интеграции с корпоративными системами на основе открытых стандартов;

- обобщение на предметные области, не относящиеся к дисциплинам науки, техники и математики (STEM);

- способность поддерживать прозрачные, открытые модели обучения, чтобы побудить студентов взять на себя больший контроль и ответственность за собственное обучение.

Литература

1. Ланда Л.Н. Алгоритмизация в обучении. М.: Просвещение, 1966. 524 с.
2. Талызина Н.Ф. Теоретические проблемы программированного обучения. М.: МГУ, 1969. 132 с.
3. A tutorial on machine learning in educational science / L. Kidzinski [et al.] // State-of-the-Art and Future Directions of Smart Learning (Lecture Notes in Educational Technology) / Eds. Y. Li [et al.]. Singapore: Springer, 2015. P. 453—459.
4. Abbakumov D., Desmet P., Van den Noortgate W. Measuring growth in students' proficiency in MOOCs: Two component dynamic extensions for the Rasch model // Behavior Research Methods. 2019. Vol. 51. № 1. P. 332—341. DOI:10.3758/s13428-018-1129-1
5. Adaptive learning path recommender approach using auxiliary learning objects / A.H. Nabizadeh [et al.] // Computers & Education. 2020. Vol. 147. P. 1—17. DOI:10.1016/j.compedu.2019.103777
6. Adaptive Social Learning Management System to Develop University Students Achievement / A.H. Nabih [et al.] // Egyptian Computer Science Journal. 2020. Vol. 44. № 1. P. 35—47.
7. Ahead of the curve: Implementation challenges in personalized learning school models / A.J. Bingham [et al.] // Educational Policy. 2018. Vol. 32. № 3. P. 454—489. DOI:10.1177/0895904816637688
8. Bloom B.S. The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring // Educational researcher. 1984. Vol. 13. № 6. P. 4—16. DOI:10.2307/1175554
9. Boyce S., O'Halloran J. Active Learning in Computer-based College Algebra // Primus. 2020. Vol. 30. № 4. P. 458—474. DOI:10.1080/10511970.2019.1608487
10. Brusilovsky P. Adaptive Educational Hypermedia [Электронный ресурс] // Proceedings of Tenth International PEG conference: Tampere, Finland, 23—26 June 2001. Tampere, 2001. P. 8—12. URL: <https://pitt.edu/~peterb/papers/PEG01.pdf> (дата обращения: 20.07.2020).
11. Can we calm first-year student's «neuroscience anxiety» with adaptive learning resources? A pilot study [Электронный ресурс] / K. Linden [et al.] // Proceedings of ASCILITE 2018: Open Oceans: Learning without borders. Geelong, 2018. P. 451—455. URL: <https://researchoutput.csu.edu.au/en/publications/can-we-calm-first-year-students-neuroscience-anxiety-with-adaptiv> (дата обращения: 20.07.2020).
12. Carbonell J.R. AI in CAI: An Artificial-intelligence Approach to Computer Assisted Instruction // IEEE Transactions on Man-Machine Systems. 1970. Vol. 11. № 4. P. 190—202. DOI:10.1109/TMMS.1970.299942

13. *Chen C.M., Liu C.Y., Chang M.H.* Personalized curriculum sequencing utilizing modified item response theory for web-based instruction // *Expert Systems with Applications*. 2006. Vol. 30. № 2. P. 378—396. DOI:10.1016/j.eswa.2005.07.029
14. *Chiu T.K.F., Mok I.A.C.* Learner expertise and mathematics different order thinking skills in multimedia learning // *Computers & Education*. 2017. Vol. 107. P. 147—164. DOI:10.1016/j.compedu.2017.01.008
15. *Chrysafiadi K., Troussas C., Virvou M.* A Framework for Creating Automated Online Adaptive Tests Using Multiple-Criteria Decision Analysis // *Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics: Miyazaki, Japan, 7—10 October 2018*. Miyazaki: IEEE, 2018. P. 226—231. DOI:10.1109/SMC.2018.00049
16. *Clark R.M., Kaw A., Delgado E.E.* Board 69: Do Adaptive Lessons for Pre-class Experience Improve Flipped Learning? [Электронный ресурс] // 2018 ASEE Annual Conference & Exposition: Salt Lake City, Utah, June 2018. Salt Lake City: American Society for Engineering Education, 2018. 13 p. URL: <https://peer.asee.org/30088> (дата обращения: 20.07.2020).
17. *Crowder N.A.* Automatic tutoring by means of intrinsic programming // *Automatic teaching: The state of the art* / E. Galanter (Ed.). New York: Wiley, 1959. P. 109—116.
18. Digital identity and e-reputation: Showcasing an adaptive eLearning module to develop students' digital literacies / R. Al-Mahmood [et al.] // *Proceedings of 35th International Conference of Innovation, Practice and Research in the use of Educational Technologies in Tertiary Education: Deakin University, Geelong, Australia, 25—28 November 2018*. Geelong: Deakin University, 2018. P. 25—34.
19. *Farmer E.C., Catalano A.J., Halpern A.J.* Exploring Student Preference between Textbook Chapters and Adaptive Learning Lessons in an Introductory Environmental Geology Course // *TechTrends*. 2020. Vol. 64. P. 150—157. DOI:10.1007/s11528-019-00435-w
20. *Fautch J.M.* Adaptive Learning Technology in General Chemistry: Does It Support Student Success? // *Enhancing Retention in Introductory Chemistry Courses: Teaching Practices and Assessments* / Eds. S.K. Hartwell, T. Gupta. American Chemical Society, 2019. P. 91—104. DOI:10.1021/bk-2019-1330.ch006
21. *Galperin P.I.* Stage-by-stage formation as a method of psychological investigation // *Journal of Russian and East European Psychology*. 1992. Vol. 30. № 4. P. 60—80. DOI:10.2753/RPO1061-0405300460
22. Homework Methods in Engineering Mechanics: Part 3 [Электронный ресурс] / D.J. Lura [et al.] // *ASEE Annual Conference & Exposition*. 2017. 7 p. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Homework-Methods-in-Engineering-Mechanics%3A-Part-3-Lura-Badir/4ed7355e8e6d193ce58f68388bb3f89245d1c5da> (дата обращения: 20.07.2020).
23. *Hssina B., Erritali M.* A Personalized Pedagogical Objectives Based on a Genetic Algorithm in an Adaptive Learning System // *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 151. P. 1152—1157. DOI:10.1016/j.procs.2019.04.164
24. Identification of personal traits in adaptive learning environment: Systematic literature review / N.B.A. Normadhi [et al.] // *Computers & Education*. 2019. Vol. 130. P. 168—190. DOI:10.1016/j.compedu.2018.11.005
25. *Kerr P.* Adaptive learning // *ETL Journal*. 2016. Vol. 70. № 1. P. 88—93. DOI:10.1093/elt/ccv055
26. *Lowendahl J.M., Thayer T.L.B., Morgan G.* Top 10 strategic technologies impacting higher education in 2016 [Электронный ресурс] // *Gartner Research*. 2016. URL: https://www.academia.edu/29441505/Top_10_Strategic_Technologies_Impacting_Higher_Education_in (дата обращения: 20.07.2020).
27. *Martin F., Markant D.* Adaptive learning modules // *The SAGE encyclopedia of higher education* / M.E. David, M.J. Amey (Eds.). London: Sage, 2020. P. 2—4.
28. *Matayoshi J., Cosyn E.* Identifying Student Learning Patterns with Semi-Supervised Machine Learning Models // *Proceedings of the 26th International Conference on Computers in Education* / Eds. J.C. Yang [et al.]. 2018. P. 11—20.
29. Maximizing the Adaptive Learning Technology Experience [Электронный ресурс] / B. Forsyth [et al.] // *Journal of Higher Education Theory and Practice*. 2016. Vol. 16. № 4. P. 80—88. URL: <https://www.articlegateway.com/index.php/JHETP/article/view/1992/1892> (дата обращения: 20.07.2020).
30. *Natriello G.* The Adaptive Learning Landscape [Электронный ресурс] // *Teachers College Record*. 2017. Vol. 119. № 3. 46 p. URL: https://cdn.tc-library.org/Rhizr/Files/sHzT6ngX98NEDhAP8/files/38_21830.pdf (дата обращения: 20.07.2020).
31. Online Learning Persistence and Academic Achievement [Электронный ресурс] / Y. Fang [et al.] // *Proceedings of the 10th International Conference on Educational Data Mining: Wuhan, China, 25—28 June 2017*. Wuhan: ERIC, 2017. P. 312—317. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED596512.pdf#page=333> (дата обращения: 20.07.2020).
32. *Pask G.* Electronic keyboard teaching machines // *Education and Commerce*. 1958. Vol. 24. P. 16—26.
33. *Reddy S., Labutov I., Joachims T.* Learning student and content embeddings for personalized lesson sequence recommendation // *Proceedings of the Third (2016) ACM Conference on Learning: Edinburgh, Scotland UK, April 25—26*. Edinburgh, 2016. P. 93—96. DOI:10.1145/2876034.2893375
34. *Skinner B.F.* Teaching Machines // *Science*. 1958. Vol. 128. № 3330. P. 969—977. DOI:10.1126/science.128.3330.969
35. SKOPE-IT (Shareable Knowledge Objects as Portable Intelligent Tutors): overlaying natural language tutoring on an adaptive learning system for mathematics / B.D. Nye [et al.] // *International journal of STEM education*. 2018. Vol. 5. № 12. P. 1—20. DOI:10.1186/s40594-018-0109-4
36. Student learning strategies and behaviors to predict success in an online adaptive mathematics tutoring system / J. Xie [et al.] // *Proceedings of the 10th International Conference on Educational Data Mining*. 2017. P. 460—465.

37. Sun Q., Norman T.J., Abdourazakou Y. Perceived value of interactive digital textbook and adaptive learning: Implications on student learning effectiveness // *Journal of Education for Business*. 2018. Vol. 93. № 7. P. 323—331. DOI:10.1080/08832323.2018.1493422
38. The utility of adaptive eLearning in cervical cytopathology education / T.D. Samulski [et al.] // *Cancer cytopathology*. 2018. Vol. 126. № 2. P. 129—135. DOI:10.1002/cncy.21942
39. Wang Y., Liao H.C. Adaptive learning for ESL based on computation // *British Journal of Educational Technology*. 2011. Vol. 42. № 1. P. 66—87. DOI:10.1111/j.1467-8535.2009.00981.x
40. Wauters K., Desmet P., Van Den Noortgate W. Item difficulty estimation: An auspicious collaboration between data and judgment // *Computers & Education*. 2012. Vol. 58. № 4. P. 1183—1193. DOI:10.1016/j.compedu.2011.11.020
41. Wenger E. *Artificial Intelligence and Tutoring Systems*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann Publisher, 1987. 485 p.
42. Yudelson M., Koedinger K.R., Gordon G.J. Individualized bayesian knowledge tracing models // In *Proceedings of 16th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED 2013)*. Springer, 2013. P. 171—180. DOI:10.1007/978-3-642-39112-5_18
43. Zhong J. Actively Engage Students with Diverse Background Using a More Personalized Approach // *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE): San Jose, CA, USA, 3—6 Oct. 2018*. San Jose: IEEE, 2018. P. 1—5. DOI:10.1109/FIE.2018.8658485

References

1. Landa L.N. *Algoritmizatsiya v obuchenii* [Algorithmization in teaching]. Moscow: Prosveshchenie, 1966. 524 p. (In Russ.).
2. Talyzina N.F. *Teoreticheskie problemy programmirovannogo obucheniya* [Theoretical problems of programmed learning]. Moscow: MGU, 1969. 132 p. (In Russ.).
3. Kidzinski L. et al. A tutorial on machine learning in educational science. In Y. Li et al. (eds.), *State-of-the-Art and Future Directions of Smart Learning (Lecture Notes in Educational Technology)*. Springer, Singapore, 2015, pp. 453—459.
4. Abbakumov D., Desmet P., Van den Noortgate W. Measuring growth in students' proficiency in MOOCs: Two component dynamic extensions for the Rasch model. *Behavior Research Methods*, 2019. Vol. 51, no. 1, pp. 332—341. DOI:10.3758/s13428-018-1129-1
5. Nabizadeh A.H. et al. Adaptive learning path recommender approach using auxiliary learning objects. *Computers & Education*, 2020. Vol. 147, pp. 1—17. DOI:10.1016/j.compedu.2019.103777
6. Nabih A.H. et al. Adaptive Social Learning Management System to Develop University Students Achievement. *Egyptian Computer Science Journal*, 2020. Vol. 44, no. 1, pp. 35—47.
7. Bingham A.J. et al. Ahead of the curve: Implementation challenges in personalized learning school models. *Educational Policy*, 2018. Vol. 32, no. 3, pp. 454—489. DOI:10.1177/0895904816637688
8. Bloom B.S. The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educational researcher*, 1984. Vol. 13, no. 6, pp. 4—16. DOI:10.2307/1175554
9. Boyce S., O'Halloran J. Active Learning in Computer-based College Algebra. *Primus*, 2020. Vol. 30, no. 4, pp. 458—474. DOI:10.1080/10511970.2019.1608487
10. Brusilovsky P., Pesin L. Adaptive Educational Hypermedia [Elektronnyi resurs]. *Proceedings of Tenth International PEG conference: Tampere, Finland, 23-26 June 2001*. Tampere, 2001, pp. 8—12. URL: <https://pitt.edu/~peterb/papers/PEG01.pdf> (Accessed 20.07.2020).
11. Linden K. et al. Can we calm first-year student's «neuroscience anxiety» with adaptive learning resources? A pilot study [Elektronnyi resurs]. *Proceedings of ASCILITE 2018: Open Oceans: Learning without borders*. Geelong, 2018, pp. 451—455. URL: <https://researchoutput.csu.edu.au/en/publications/can-we-calm-first-year-students-neuroscience-anxiety-with-adaptiv> (Accessed 20.07.2020).
12. Carbonell J.R. AI in CAI: An Artificial-intelligence Approach to Computer Assisted Instruction. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, 1970. Vol. 11, no. 4, pp. 190—202. DOI:10.1109/TMMS.1970.299942
13. Chen C.M., Liu C.Y., Chang M.H. Personalized curriculum sequencing utilizing modified item response theory for web-based instruction. *Expert Systems with Applications*, 2006. Vol. 30, no. 2, pp. 378—396. DOI:10.1016/j.eswa.2005.07.029
14. Chiu T.K.F., Mok I.A.C. Learner expertise and mathematics different order thinking skills in multimedia learning. *Computers & Education*, 2017. Vol. 107, pp. 147—164. DOI:10.1016/j.compedu.2017.01.008
15. Chrysaftiadi K., Troussas C., Virvou M. A Framework for Creating Automated Online Adaptive Tests Using Multiple-Criteria Decision Analysis. *Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics: Miyazaki, Japan, 7—10 October 2018*. Miyazaki: IEEE, 2018, pp. 226—231. DOI:10.1109/SMC.2018.00049
16. Clark R.M., Kaw A., Delgado E.E. Board 69: Do Adaptive Lessons for Pre-class Experience Improve Flipped Learning? [Elektronnyi resurs]. *2018 ASEE Annual Conference & Exposition (Salt Lake City, Utah, June 2018)*. Salt Lake City: American Society for Engineering Education, 2018. 13 p. URL: <https://peer.asee.org/30088> (Accessed 20.07.2020).

17. Crowder N.A. Automatic tutoring by means of intrinsic programming. In E. Galanter (ed.), *Automatic teaching: The state of the art*. New York: Wiley, 1959, pp. 109—116.
18. Al-Mahmood R. et al. Digital identity and e-reputation: Showcasing an adaptive eLearning module to develop students' digital literacies. *Proceedings of 35th International Conference of Innovation, Practice and Research in the use of Educational Technologies in Tertiary Education: Deakin University, Geelong, Australia, 25–28 November 2018*. Geelong: Deakin University, 2018, pp. 25—34.
19. Farmer E.C., Catalano A.J., Halpern A.J. Exploring Student Preference between Textbook Chapters and Adaptive Learning Lessons in an Introductory Environmental Geology Course. *TechTrends*, 2020. Vol. 64, pp. 150—157. DOI:10.1007/s11528-019-00435-w
20. Fautch J.M. Adaptive Learning Technology in General Chemistry: Does It Support Student Success? In S.K. Hartwell, T. Gupta (eds.), *Enhancing Retention in Introductory Chemistry Courses: Teaching Practices and Assessments*. American Chemical Society, 2019, pp. 91—104. DOI:10.1021/bk-2019-1330.ch006
21. Galperin P.I. Stage-by-stage formation as a method of psychological investigation. *Journal of Russian and East European Psychology*, 1992. Vol. 30, no. 4, pp. 60—80. DOI:10.2753/RPO1061-0405300460
22. Lura D.J. et al. Homework Methods in Engineering Mechanics: Part 3 [Elektronnyi resurs]. *ASEE Annual Conference & Exposition*, 2017. 7 p. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Homework-Methods-in-Engineering-Mechanics%3A-Part-3-Lura-Badir/4ed7355e8e6d193ce58f68388bb3f89245d1c5da> (Accessed 20.07.2020).
23. Hssina B., Erritali M. A Personalized Pedagogical Objectives Based on a Genetic Algorithm in an Adaptive Learning System. *Procedia Computer Science*, 2019. Vol. 151, pp. 1152—1157. DOI:10.1016/j.procs.2019.04.164
24. Normadhi N.B.A. et al. Identification of personal traits in adaptive learning environment: Systematic literature review. *Computers & Education*, 2019. Vol. 130, pp. 168—190. DOI:10.1016/j.compedu.2018.11.005
25. Kerr P. Adaptive learning. *ETL Journal*, 2016. Vol. 70, no. 1, pp. 88—93. DOI:10.1093/elt/ccv055
26. Lowendahl J.M., Thayer T.L.B., Morgan G. Top 10 strategic technologies impacting higher education in 2016 [Elektronnyi resurs]. *Gartner Research*, 2016. URL: https://www.academia.edu/29441505/Top_10_Strategic_Technologies_Impacting_Higher_Education_in (Accessed 20.07.2020).
27. Martin F., Markant D. Adaptive learning modules. In M.E. David, M.J. Amey (eds.), *The SAGE encyclopedia of higher education*. London: Sage, 2020, pp. 2—4.
28. Matayoshi J., Cosyn E. Identifying Student Learning Patterns with Semi-Supervised Machine Learning Models. In J.C. Yang et al. (eds.), *Proceedings of the 26th International Conference on Computers in Education*. 2018, pp. 11—20.
29. Forsyth B. et al. Maximizing the Adaptive Learning Technology Experience [Elektronnyi resurs]. *Journal of Higher Education Theory and Practice*, 2016. Vol. 16, no. 4, pp. 80—88. URL: <https://www.articlegateway.com/index.php/JHETP/article/view/1992/1892> (Accessed 20.07.2020).
30. Natriello G. The Adaptive Learning Landscape [Elektronnyi resurs]. *Teachers College Record*, 2017. Vol. 119, no. 3, 46 p. URL: https://cdn.tc-library.org/Rhizr/Files/sHzT6ngX98NEDhAP8/files/38_21830.pdf (Accessed 20.07.2020).
31. Fang Y. et al. Online Learning Persistence and Academic Achievement [Elektronnyi resurs]. *Proceedings of the 10th International Conference on Educational Data Mining: Wuhan, China, 25–28 June 2017*. Wuhan: ERIC, 2017, pp. 312—317. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED596512.pdf#page=333> (Accessed 20.07.2020).
32. Pask G. Electronic keyboard teaching machines. *Education and Commerce*, 1958. Vol. 24, pp. 16—26.
33. Reddy S., Labutov I., Joachims T. Learning student and content embeddings for personalized lesson sequence recommendation. *Proceedings of the Third (2016) ACM Conference on Learning: Edinburgh, Scotland UK, April 25—26*. Edinburgh, 2016, pp. 93—96. DOI:10.1145/2876034.2893375
34. Skinner B.F. Teaching Machines. *Science*, 1958. Vol. 128, no. 3330, pp. 969—977. DOI:10.1126/science.128.3330.969
35. Nye B.D. et al. SKOPE-IT (Shareable Knowledge Objects as Portable Intelligent Tutors): overlaying natural language tutoring on an adaptive learning system for mathematics. *International journal of STEM education*, 2018. Vol. 5, no. 12, pp. 1—20. DOI:10.1186/s40594-018-0109-4
36. Xie J. et al. Student learning strategies and behaviors to predict success in an online adaptive mathematics tutoring system. *Proceedings of the 10th International Conference on Educational Data Mining*. 2017, pp. 460—465.
37. Sun Q., Norman T.J., Abdourazakou Y. Perceived value of interactive digital textbook and adaptive learning: Implications on student learning effectiveness. *Journal of Education for Business*, 2018. Vol. 93, no. 7, pp. 323—331. DOI:10.1080/08832323.2018.1493422
38. Samulski T.D. et al. The utility of adaptive eLearning in cervical cytopathology education. *Cancer cytopathology*, 2018. Vol. 126, no. 2, pp. 129—135. DOI:10.1002/cncy.21942
39. Wang Y., Liao H.C. Adaptive learning for ESL based on computation. *British Journal of Educational Technology*, 2011. Vol. 42, no. 1, pp. 66—87. DOI:10.1111/j.1467-8535.2009.00981.x
40. Wauters K., Desmet P., Van Den Noortgate W. Item difficulty estimation: An auspicious collaboration between data and judgment. *Computers & Education*, 2012. Vol. 58, no. 4, pp. 1183—1193. DOI:10.1016/j.compedu.2011.11.020
41. Wenger E. *Artificial Intelligence and Tutoring Systems*. Los Altos, CA: Morgan Kaufmann Publisher, 1987. 485 p.

42. Yudelson M., Koedinger K.R., Gordon G.J. Individualized bayesian knowledge tracing models. *In Proceedings of 16th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED 2013)*. Springer, 2013, pp. 171–180. DOI:10.1007/978-3-642-39112-5_18
43. Zhong J. Actively Engage Students with Diverse Background Using a More Personalized Approach. *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE): San Jose, CA, USA, 3–6 Oct. 2018*. San Jose: IEEE, 2018, pp. 1–5. DOI:10.1109/FIE.2018.8658485

Информация об авторах

Кравченко Дарья Андреевна, заместитель руководителя Центра вычислительных наук об образовании, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0556-1723>, e-mail: dakravchenko@hse.ru

Блескина Ирина Александровна, ведущий аналитик Центра вычислительных наук об образовании, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8450-1966>, e-mail: ibleskina@hse.ru

Каляева Екатерина Николаевна, аналитик Центра вычислительных наук об образовании, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6063-2681>, e-mail: ekalyaeva@hse.ru

Землякова Елизавета Анатольевна, менеджер Центра вычислительных наук об образовании, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2701-3704>, e-mail: eazemlyakova@hse.ru

Аббакумов Дмитрий Фёдорович, доктор наук об образовании, руководитель Центра вычислительных наук об образовании, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ), г. Москва, Российская Федерация, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0848-2537>, e-mail: dabbakumov@hse.ru

Information about the authors

Daria A. Kravchenko, Master's in Psychology, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0556-1723>, e-mail: dakravchenko@hse.ru

Irina A. Bleskina, Master's in Business Informatics, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8450-1966>, e-mail: ibleskina@hse.ru

Ekaterina N. Kalyaeva, Degree in Sociology, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6063-2681>, e-mail: ekalyaeva@hse.ru

Elizaveta A. Zemlyakova, Bachelor's in History, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2701-3704>, e-mail: eazemlyakova@hse.ru

Dmitry F. Abbakumov, PhD of Educational Sciences from KU Leuven, National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0848-2537>, e-mail: dabbakumov@hse.ru

Получена 13.08.2020

Received 13.08.2020

Принята в печать 22.09.2020

Accepted 22.09.2020