

АЛГОРИТМЫ ИНДИВИДУАЛИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

М. С. Дьяченко^[0000-0002-5809-4981]

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
г. Москва, Россия*

mdyachenko@niisi.ru

Аннотация

Рассмотрены различные аспекты практической реализации алгоритмов индивидуализированного обучения (основанные на результатах педагогических экспериментов) при обучении с преподавателем (в аудитории, дистанционно или в гибридном режиме) и при самостоятельной работе студента. Описанная система одновременно обучает студента материалам курса и приемам самостоятельного обучения, то есть образовательным технологиям, которые формируют индивидуальную образовательную траекторию. Подмножество образовательных технологий определяется индивидуально для каждого студента в группе. Образовательные технологии независимы от учебного курса и универсальны, поэтому могут применяться на последующих или параллельных курсах. Преподаватели могут описывать новые образовательные технологии в виде скриптов на языке Python без привлечения разработчиков. Предложенная реализация интегрируется с цифровой образовательной платформой Мирера для расширения возможностей платформы.

Ключевые слова: индивидуализация обучения, автоматизированная система обучения, цифровая образовательная платформа, адаптивное обучение.

ВВЕДЕНИЕ

Опережающее развитие экономики требует ускоренной подготовки большого числа высококвалифицированных кадров, что, в свою очередь, ставит задачу поиска подходов, позволяющих существенно увеличить темп, сроки и численность специалистов, подготавливаемых системой образования, без ущерба

качеству образования, а в ряде случаев даже с улучшением средних показателей компетентности выпускников. Так как на подготовку преподавателя вуза уходит не менее 5 лет, а текущие педагогические кадры уже работают на полную ставку, для увеличения количества подготавливаемых специалистов наиболее очевидным решением является увеличение размера учебных групп. Вместе с тем одним из главных требований для обучения больших групп в вузе выступает поддержание высокого уровня образовательных результатов с учетом ограниченных возможностей преподавателя вести персональную работу с каждым учащимся в условиях роста учебной нагрузки на преподавателя.

Для сохранения баланса между качеством обучения и размером учебной группы внедряют инструменты, облегчающие выполнение рутинных повторяющихся задач, например, таких как оценка заданий, выполненных студентами. Большинство современных решений в области автоматизации процесса обучения ориентированы на автоматизированную проверку заданий. Значительно меньшее число решений способно обеспечить адаптацию учебного процесса к индивидуальным особенностям каждого обучающегося, снимая эту задачу с преподавателя.

Адаптация учебных материалов, постоянно выполняемая преподавателем при работе с обучаемыми в группе, является важным фактором успешного освоения студентами учебного курса. Автоматизированные системы обучения берут на себя функцию преподавателя по адаптации учебных материалов как при смешанной форме обучения с преподавателем, так и при самостоятельной работе студента. Такие системы обучения должны способствовать развитию навыков самообразования, реализуемых традиционно при индивидуальной работе с участием преподавателя. Навыки самообразования позволяют студентам продуктивно усваивать материал как на занятиях, так и при самостоятельной работе с учебными материалами. Развитие у студентов навыков самообучения также способствует снижению нагрузки на преподавателя, поскольку студенты справляются с большей частью учебного материала самостоятельно, за счет чего у преподавателя высвобождаются ресурсы для работы со студентами, которым не могут помочь ограниченные по возможностям алгоритмы автоматизированной системы, поэтому требуется помощь преподавателя-человека.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Существующие системы автоматизации обучения преимущественно реализуют выбранные разработчиками технологии адаптации учебных материалов, используемые для улучшения отдельных аспектов обучения. Однако применяемые технологии не предназначены для поиска индивидуальной образовательной технологии для каждого обучаемого в группе, а, как показывают исследования, эффективны только для обучаемых, восприимчивых к используемой образовательной технологии. Под образовательными технологиями в настоящей статье понимаются приемы обучения и небольшие по объему и простые по структуре отдельные шаги метода обучения, например повтор ранее изученного материала определенного уровня сложности, изучение нового материала для подготовки к занятию и т. д. Автоматизация образовательной технологии заключается в выборе следующего учебного действия на основании данных, собранных при взаимодействии студента с автоматизированной системой обучения.

Результаты эксперимента, полученные в исследовании [1], дали возможность установить, что при работе студентов в системе адаптивного обучения ALEKS в течение четырех месяцев замечено снижение навыков самообучения, которые должны были сохраняться и совершенствоваться в процессе обучения.

Как показывает выполненный обзор результатов исследований в области самообучения студентов [2], помимо демонстрации академической успеваемости для студентов становится необходимым развитие устойчивых навыков самообучения, которые исследователи отнесли к важным инструментам достижения академических успехов и поддержки послевузовского профессионального развития. Осознанная самообразовательная компетенция студентов, как отмечено в [3], является предпосылкой для формирования высококвалифицированного специалиста.

Цель настоящей работы – рассмотреть различные аспекты практической реализации алгоритмов индивидуализированного обучения (основанных на результатах педагогических экспериментов) при обучении с преподавателем (в аудитории, дистанционно или в гибридном режиме) и при самостоятельной работе студента.

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ

В России проведены успешные исследования в области использования систем адаптивного обучения. Наиболее масштабное исследование выполнено в Сибирском федеральном университете [4]. Менее масштабные эксперименты, также подтвердившие эффективность адаптивного обучения, осуществлены в Российском экономическом университете имени Г. В. Плеханова [5], Башкирском государственном аграрном университете [6], а также в Самарском государственном медицинском университете [7]. Исследование [8] охватило одновременно Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (МГУ), Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Казанский (Приволжский) федеральный университет и Дальневосточный федеральный университет. Все отмеченные работы продемонстрировали эффективность адаптивного подхода, однако разработанные приемы не получили широкого распространения в системе образования, не в последнюю очередь, из-за специфических условий применения, ограниченной возможностью переноса адаптивного алгоритма между курсами, ограничений по переносу технической реализации и необходимости трудоемкой разработки адаптивных учебных материалов.

Результаты исследований, выполненных в Томском государственном университете и Университете науки и технологий МИСИС, были коммерциализированы в отечественной системе адаптивного обучения Plario (компания ENBISYS, Томск), основанной на подходе Bayesian Knowledge Tracing. Система Plario внедрена в нескольких вузах. Для разработки обучающих курсов названная компания привлекает группы экспертов. По информации на сайте компании по состоянию на 2026 год реализованы единицы адаптивных курсов¹. В исследовании [9], посвященном применению Plario для обучения математики на первом курсе, определено, что Plario – это прежде всего цифровой репетитор, предназначенный для выравнивания знаний, умений и навыков. В этом исследовании нет результатов оценки влияния системы на развитие компетенции самообучения, хотя от-

¹Plario – система адаптивного обучения <https://plario.ru/>

мечено, что работа с системой предполагает увеличение объема самостоятельной работы и снижения количества аудиторных часов.

Адаптивное обучение также представлено в системе Stepik. Так, в проведенном в Казахстане исследовании [10] показано, что обучение математике на адаптивном курсе дает улучшение средней оценки, а также помогает развить навык самооценки знаний студента.

Кроме того, адаптивные технологии используются и на платформе Яндекс.Практикум, однако нам не удалось найти научные публикации об оценке результативности обучения на этой платформе, хотя есть связанные с этим исследования [11] о применении API большой языковой модели от Яндекса YandexGPT при обучении программированию.

Зарубежные образовательные учреждения также широко используют платформы адаптивного обучения. Согласно исследованию [12], в число таких платформ входят Knewton Alta², Smart Sparrow³, DreamBox Learning⁴ и ALEKS⁵. Активно развиваются системы адаптивного обучения в Китае. Так, система Squirrel AI⁶ по состоянию на 2026 год используется десятками тысяч студентов. Согласно результатам [13], по итогам обучения не только вырос средний балл, но и явно отмечено улучшение результатов при отложенной оценке остаточного уровня знаний.

В адаптивной системе обучения учебный материал представлен набором модулей – учебных элементов, каждый из которых содержит пререквизиты для начала обучения, материал для изучения в виде текста, интерактивного элемента или видео, набор проверочных заданий различных уровней сложности или генератор заданий. Обучение проходит самостоятельно, изолированно или совместно с преподавателем. Сначала студенты осваивают содержание модуля, после чего проводится проверка усвоения материала. На основе результатов

²Knewton Alta – система адаптивного обучения

<https://www.wiley.com/en-ie/grow/teach-learn/teacher-resources/courseware/knewton-alta/>

³Smart Sparrow – система адаптивного обучения <https://www.smartsparrow.com/>

⁴DreamBox Learning – система адаптивного обучения <https://www.dreambox.com/>

⁵ALEKS – система адаптивного обучения <https://www.aleks.com/index.html>

⁶Squirrel AI – система адаптивного обучения <https://squirrelai.com/>

проверки осуществляется адаптация индивидуальной образовательной траектории учащегося. В основном адаптация заключается в изменении порядка изучения тем, уровня сложности заданий либо уровня детализации и формы представления задания и результата проверки решения.

В исследовании [14] показано, что в автоматизированных системах обучения объектами адаптации являются содержание учебного материала, порядок его изучения и учебные задания. Кроме того, отмечено, что автоматизированные системы на практике не реализуют адаптацию сразу всех объектов, ограничиваясь одним или двумя.

Методика адаптации разнообразна. Так, в системе обучения немецкому языку [15] используются одновременно управление сложностью заданий и уровнем детализации, проактивные подсказки, информирование о статистике прохождения заданий и наиболее частых ошибках. Авторы [16] реализовали адаптацию порядка изучения материалов на основе кривых забывания Эббингауза с использованием генетических алгоритмов. Оригинальное исследование кривых забывания Эббингауза (1885 г.) было повторено в 2015 г., получено подтверждение основных результатов оригинального исследования [17]. Активно развиваются подходы, основанные на больших объемах накопленных данных. Например, авторы [18] используют глубокое обучение для адаптации траектории обучения. В последующих исследованиях продемонстрированы решения с глубоким обучением, в том числе с механикой забывания [19]. Однако на практике даже простые реализации на основе эвристик показывают эффективность. Так, в работе [4] эвристики использовались для управления сложностью заданий и выбора языка представления учебных материалов.

Перечисленные выше работы объединяет использование единого алгоритма адаптации или набора алгоритмов для всех студентов в группе, однако результаты экспериментов показывают, что не все студенты группы получают положительный эффект от применения единого параметрического алгоритма. Студенты, испытывающие сложности при обучении в системе, для которых оказалось недостаточно возможностей по адаптации, по условию эксперимента могли обращаться непосредственно к преподавателю для решения возникающих проблем.

Анализ самообучения в автоматизированных системах проводится реже, так как предполагается, что алгоритм автоматизированной системы находит индивидуальные параметры обучения студента и автоматически формирует траекторию обучения – студент получает от алгоритма готовый результат и сам в процессе выбора образовательной технологии не участвует.

В исследовании [20] самообучение стимулировалось за счет применения геймификации на уровне учебной группы. Процесс обучения, предложенный в этой работе, провоцировал конкуренцию внутри группы в борьбе за единый ресурс-оценку, что могло приводить к выбору студентом стратегии, предполагающей активную самостоятельную работу. Однако существенными ограничениями этого подхода были требование к наличию у студента мотивации к обучению, а также отсутствие контроля применения методов самообучения.

Анализ результатов, представленных в [8], показал, что после внедрения системы адаптивного обучения было зарегистрировано повышение уровня оценки компетенции «Самообучение», однако оценка проводилась на основании тестирования студентов экспериментальной и контрольной групп. Автор также отмечает развитие метакогнитивных навыков, например, в части планирования.

Несмотря на значительный прогресс в области внедрения адаптивного обучения в России, существующие подходы демонстрируют положительные эффекты лишь для части студентов, в том числе из-за использования универсальных параметрических алгоритмов, которые реализуются на уровне системы автоматизации обучения сразу для всех студентов в группе. При этом формирование универсальных алгоритмов персонализации, которые подходили бы всем студентам, остается нерешенным вопросом. Кроме того, недостаточно исследован вопрос самообучения в адаптивных системах. В связи с этим актуальной является задача реализации алгоритма индивидуализации обучения, который позволил бы комбинировать результаты проведенных педагогических экспериментов для поиска индивидуальных подходов для каждого студента. При этом подход, реализуемый алгоритмом, должен быть переносимым между различными курсами и должен стимулировать развитие навыков самообучения у обучаемых. Развитие навыков самообучения у студентов снижает нагрузку на преподавателя

и дает возможность увеличивать учебные группы, а также является важным инструментом формирования высококвалифицированного специалиста.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты, представленные в настоящей статье, получены из основе анализа экспериментов, проведенных в России и за рубежом в области внедрения и эксплуатации систем адаптивного обучения, а также исследований по оценке уровня развития навыков самообучения у студентов при взаимодействии с автоматизированными системами обучения. Были рассмотрены технологии реализации адаптивности, подходы к разработке адаптивных материалов, а также характер взаимодействия обучаемых с учебной системой.

Отмеченные нами исследования показали, что фокус разработчиков обучающих систем находится только на обучении материалу курса, при этом были установлены краткосрочные цели обучения – добиться результатов в конкретном учебном курсе. В отдельных исследованиях оценивались уровень остаточных знаний или влияние процесса обучения на компетенции в области самообучения, но не делались выводы о способах улучшения компетенции самообучения.

Ниже рассмотрены базовые методы адаптивного обучения и такие методики, как скаффолдинг (scaffolding), которая изначально предполагает снижение участия преподавателя (предоставляющего поддержку «строительными лесами») – в нашем случае автоматизированной системы обучения – по мере освоения обучаемым предложенного материала. Применяв методику скаффолдинг к процессу самообучения, мы пришли к выводу, что обучение навыку самообучения должно быть встроено в процесс обучения студента, следовательно, по мере обучения студента уровень вовлечения автоматизированной системы обучения должен снижаться.

Новыми сущностями в системе автоматизированного обучения будут прием обучения и учебный элемент, обладающие своими жизненными циклами. Система должна обеспечить реализацию жизненных циклов этих сущностей.

По результатам исследования синтезированы требования к системе автоматизированного обучения, описаны основные модели данных и разработан

прототип, подтверждающий возможность создания системы адаптивного обучения на базе разработанных принципов.

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ

Используемый подход заключается в автоматическом формировании индивидуальной образовательной траектории (ИОТ) обучения студента за счет применения композиции образовательных технологий (ОТ).

Образовательные технологии являются приемами обучения, которые студент может применять самостоятельно вне автоматизированной системы. ИОТ формируется в процессе самостоятельного обучения студента, когда в образовательном процессе не участвует человек-преподаватель. При формировании ИОТ система отбирает автоматизированные приемы обучения, применение которых демонстрирует результаты для конкретного студента. После отбора приемов и подбора значений их параметров для конкретного студента система стимулирует самостоятельное освоение им учебного материала и далее переходит к контролю его усвоения. Предлагаемый подход описан в [21].

Каждая образовательная технология имеет свой жизненный цикл, включающий этапы отбора технологии по эффективности, подбора значений параметров технологии, освоения и контроля владением ею. Поскольку приемы обучения являются результатами педагогической практики или педагогических экспериментов, они описаны в виде, применимом как для автоматической адаптации учебного материала, так и для автоматического контроля результата обучения. Дополнительно к адаптации материала и проверке уровня знаний система также реализует функцию обучения студента применению образовательных технологий, которые продемонстрировали свою эффективность (рис. 1).

На этапе оценки эффективности (рис. 1) система начинает использовать автоматизированную ОТ при формировании ИОТ и оценивает результаты применения ОТ. В случае подтверждения результативности ОТ система начинает обучение студента самостоятельному применению ОТ, направленному на выработку устойчивого навыка, постепенно снижая уровень своего влияния на студента, обучая его самостоятельному принятию решений. Для обучения навыку применения ОТ система начинает предлагать студенту возможные варианты

адаптации и ожидает, что студент выберет из них соответствующую ОТ. Если студент некорректно выбирает вариант адаптации, то система приводит описание ОТ с примерами, когда ее применение позволило получить положительный эффект. После освоения ОТ студентом система переходит к контролю ее применения. В этом состоянии система периодически дает студенту самостоятельно выбирать вариант адаптации учебного элемента для контроля того, что студент все еще сознательно воспроизводит ранее изученную ОТ.

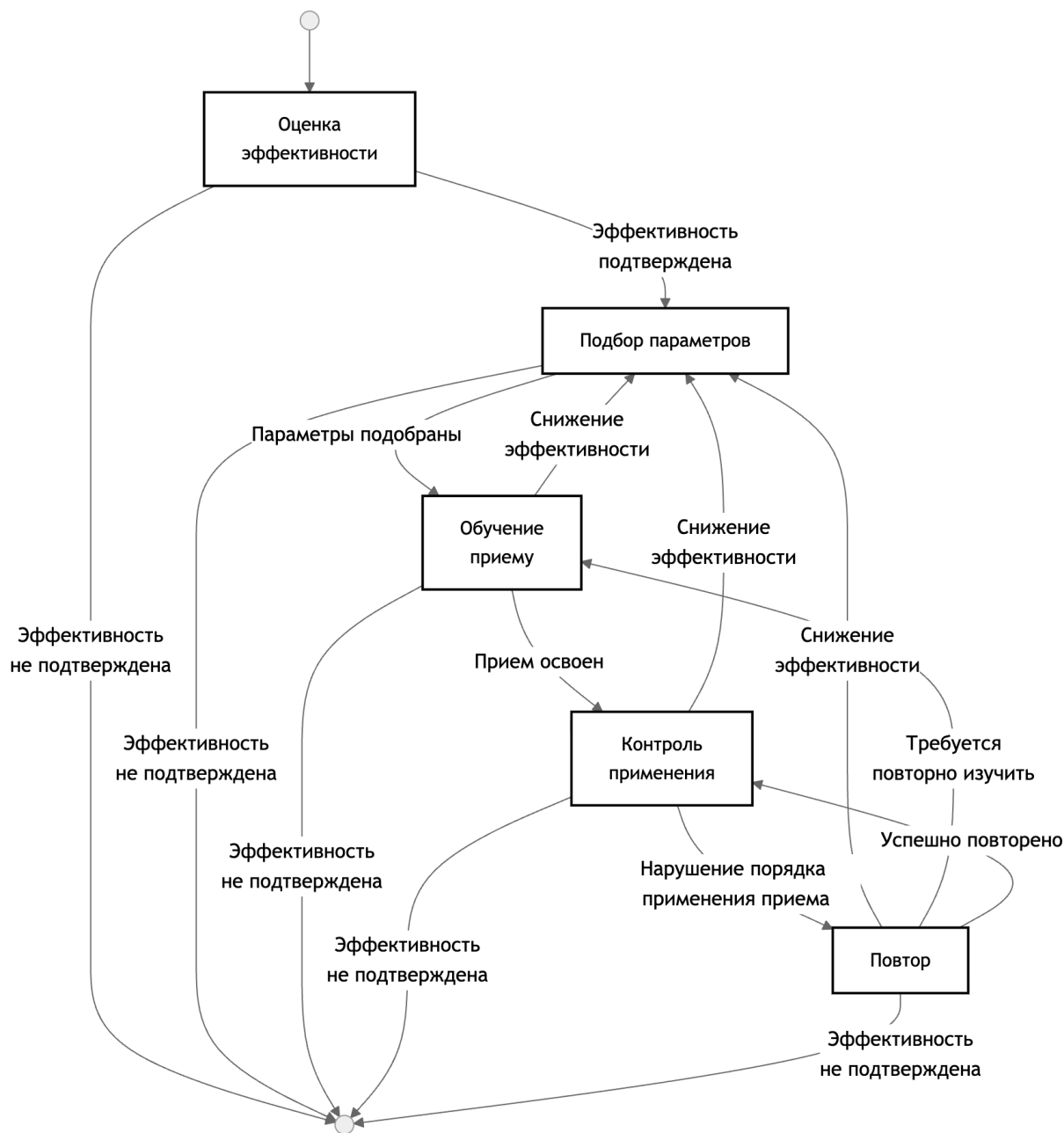


Рис. 1. Жизненный цикл приема обучения.

Материалы изучаемого курса состоят из учебных элементов (УЭ), которые проходят определенные этапы жизненного цикла при взаимодействии со студентом. Студент сначала изучает учебный элемент, после этого происходит закрепление материала и в завершении выполняется повтор материала. Поскольку этапы жизненного цикла учебных элементов могут повторяться из-за необходимости возврата от повтора к закреплению и от закреплению к изучению, жизненный цикл может быть описан в виде автомата с состояниями и условиями перехода между ними (рис. 2).

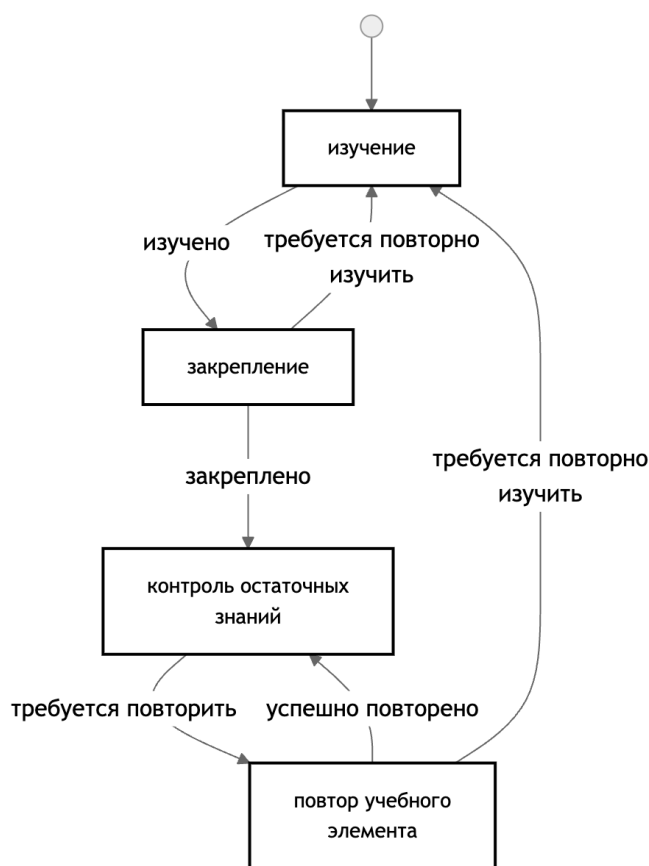


Рис. 2. Жизненный цикл учебного элемента.

Жизненные циклы образовательной технологии и изучаемых учебных элементов связаны. Так, изменение состояний жизненного цикла образовательной технологии происходит на основании данных об изучении учебных элементов, причем образовательная технология сразу охватывает все учебные элементы и при анализе эффективности использует полную информацию, не ограничиваясь контролем усвоения одного учебного элемента.

Другим источником данных для жизненного цикла образовательной технологии является поведение студента. Система контролирует действия студента, стремится обучить его самостоятельно применять образовательную технологию, а после этого выполняет периодический контроль корректности использования ОТ.

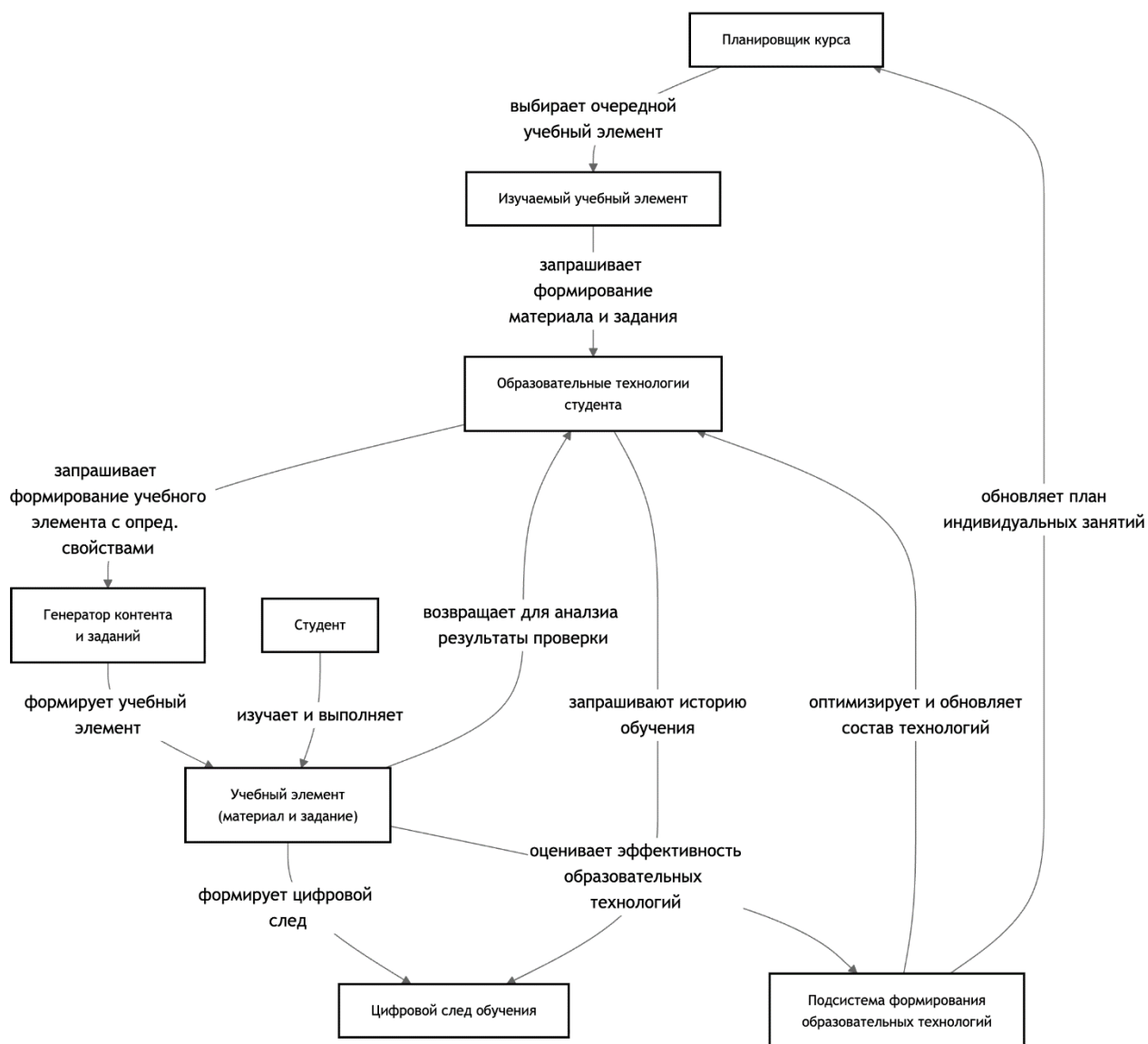


Рис. 3. Диаграмма взаимодействия компонентов системы при формировании ИОТ.

Индивидуальная образовательная технология формируется как результат синтеза на основе подмножества образовательных технологий, отобранных для студента, истории его обучения в виде цифрового следа обучения и адаптивных учебных материалов (рис. 3). Образовательные технологии формируют учебный

элемент, который предъявляется студенту для изучения, после чего выполняется контроль полученных знаний.

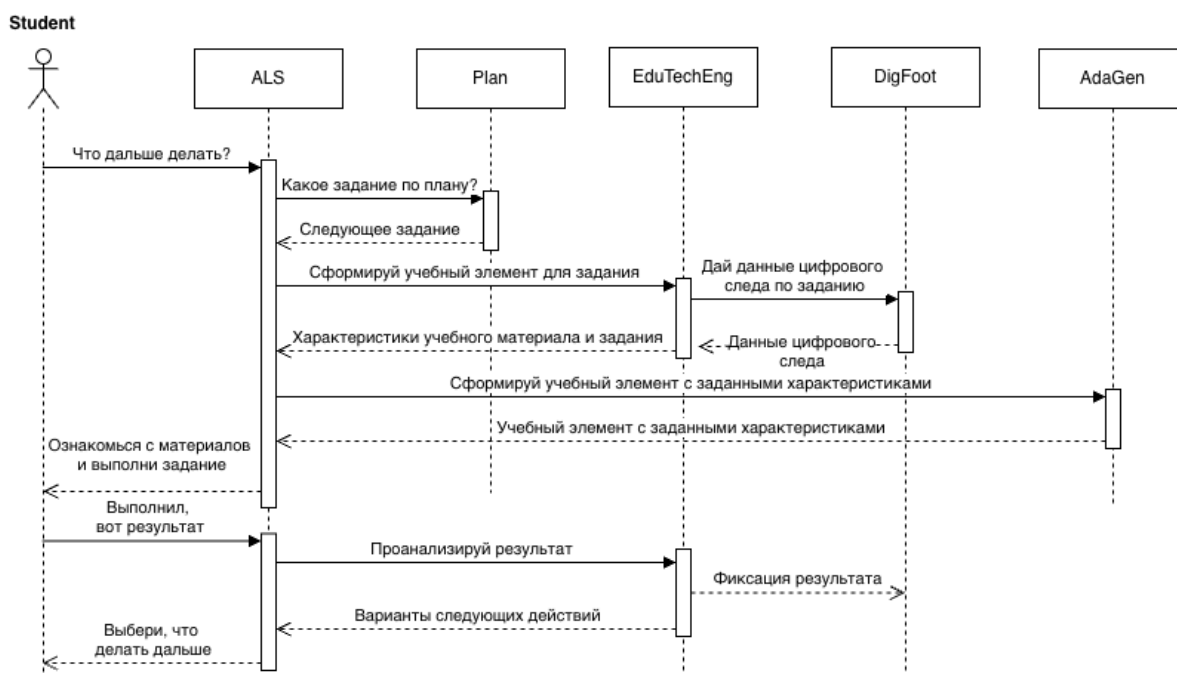


Рис. 4. Диаграмма последовательности при формировании ИОТ. Student – студент, ALS – автоматизированная система обучения, Plan – планировщик, EduTechEng – подсистема обработки ОТ, DigFoot – регистратор цифрового следа студента, AdaGen – подсистема формирования учебного элемента.

Диаграмма последовательности на этапе формирования ИОТ для студента представлена на рис. 4. Инициатором взаимодействия с автоматизированной системой обучения является студент, который обращается к системе после получения от нее уведомления или согласно индивидуальному графику расписания учебы. Система (ALS на рис. 4) получает от планировщика (Plan на рис. 4) информацию о следующем учебном элементе. Данные об учебном элементе передаются в подсистему образовательных технологий, по результатам применения которых формируется набор характеристик для представления учебного элемента. Полученные характеристики передаются в подсистему адаптации, результаты работы которой предоставляются студенту. Студент может ознакомиться с материалами и выполнить задания. По результатам анализа ответов на задание определяется следующее действие. В зависимости от стадии освоения ОТ учебное действие формируется автоматически, либо студенту предлагают выбрать

возможные варианты следующих учебных действий. В зависимости от результата шаги повторяются для текущего или следующего учебных элементов.

Рассмотрим пример ОТ на этапе изучения учебного элемента, основанной на адаптации сложности проверочного задания и изменении уровня детализации разбора задания. Оба этих подхода могут применяться в рамках комплекса ОТ студента, как последовательно, так и в виде единой ОТ.

В качестве примера приведем далее описание образовательной технологии этапа изучения УЭ в виде набора правил

Правило 1. Задание выполнено без ошибки, признаков заимствований нет.

Действие 1.1. Запланировать повтор для закрепления материала.

Правило 2. Задание выполнено с ошибкой (первый раз после изучения или успешного выполнения задания), не исключаем случайную ошибку.

Действие 2.1. Ошибка в материалах последнего занятия – запланировать повтор материала в кратком изложении.

Действие 2.2. Ошибка в материале предыдущих занятий – запланировать повтор материала в кратком изложении.

Правило 3. Повторная ошибка в новом материале – вероятно, не понял материал или задачу.

Действие 3.1. Допустим, не понял материал – дать возможность детально посмотреть еще раз материал.

Действие 3.2. После ознакомления с материалом предлагается вопрос из теории.

Вариант действия 3.2.1. Прошел теорию – предлагаем решить задачу.

Вариант действия 3.2.2. Не прошел теорию – повышаем детализацию теории для повторения.

Вариант действия 3.2.3. Не прошел теорию снова – отправляем уведомление преподавателю.

Правило 4. Повторная ошибка после повторного ознакомления с полным материалом – скорее всего не понял задачу.

Действие 4.1. Надо разобрать задачу.

Правило 5. Снова ошибся – интерактивный пошаговый разбор задачи

с контролем ответа на каждом шаге задачи. В итоге нужна диагностика, в чем именно заключается ошибка.

Возможности по модификации и контролю учебных материалов ограничены уровнем их адаптивности. Поскольку подход допускает поэтапную трансформацию материалов курса, часть материалов на момент их использования может не поддерживать необходимую модификацию. В этом случае также не может быть выполнена оценка эффективности применения ОТ. Данный сценарий характерен для старших курсов вузов с малой численностью студентов в группе, для которых нецелесообразно разрабатывать адаптивные учебные материалы, поэтому на этом этапе можно выполнять контроль знаний, но не выбор и подбор значений параметров образовательных технологий. В свою очередь, для младших курсов вуза с большой численностью потока целесообразно разрабатывать адаптивные учебные материалы, поэтому на этих курсах можно применять оценку эффективности и подбор значений параметров образовательных технологий.

Так, например, диаграмма, приведенная на рис. 2, показывает, что контроль и повтор изучения могут происходить в комбинированных заданиях, что снижает нагрузку на студента, однако без возможности детального анализа результатов такая комбинация приведет к тому, что все ОТ, входящие в комбинированную задачу, в случае ошибки потребуются повторять.

Например, для снижения нагрузки студенту могут предложить выполнить повтор нескольких учебных элементов в одном задании, однако в случае ошибки в этом задании система должна или выявить точное место ошибки, или запланировать отдельную проверку знаний по всем учебным элементам, входящим в задание.

Предложенная реализация является расширением цифровой образовательной платформы (ЦОП) Мирера⁷. Формирование цифрового следа обучения, адаптация учебных элементов, их визуализация и проверка знаний выполняются на стороне ЦОП Мирера. Описание образовательных технологий для студента и их применение относятся к зоне ответственности разработанного расширения.

⁷Стартовая страница ЦОП «Мирера». <https://www.mirera.ru/>

За счет использования готовой функциональности ЦОП Мирера удалось сократить объем работ по внедрению предложенного подхода в учебный процесс.

РЕАЛИЗАЦИЯ

Основу образовательной технологии составляет формально описанный педагогический эксперимент. В качестве описания наиболее наглядной формой является отображение в виде конечного автомата с набором состояний и условий перехода. Альтернативным вариантом является описание в виде скрипта на алгоритмическом языке. В качестве базового языка выбран простой для освоения и распространенный язык разработки Python. Для снижения порога входа преподаватель фиксирует только действия и условия переходов, но не реализует машины состояний.

В скрипте разработчику доступны интерфейсы для получения текущего состояния, включая всю историю обучения и данные группы, интерфейсы для формирования учебного элемента и анализа результатов проверки знаний (листинг 2).

Листинг 1: Фрагмент кода реализации элемента образовательной технологии на языке Python

```
1. if topics.current.attempts.tail(5).succeeded_percentage(80):
2.     # посмотреть сложность последних 5 попыток, должна быть выше целевой
3.     if topics.current.attempts.tail(5).difficulty_percentage(80) >= topics.current.group.target:
4.         # необходимый уровень сложности достигнут, перейти к закреплению
5.         if topics.current.tail_between_days(0, 30).uniform_distribution_succeeded_percentage(80) >= 80:
6.             pass
7.         else:
8.             topics.current.sustain_in_days(3)
9.         return
10.    else:
11.        # повышаем сложность
12.        topics.current.increase_difficulty()
13.    return
14. elif topics.current.attempts.tail(3).failed_percentage(80):
15.    # может быть случайной ошибкой
16.    topics.current.decrease_difficulty()
```

Поскольку ОТ описана в терминах попыток, программный интерфейс поддерживает методы статистического описания результатов процесса обучения, что делает код ОТ наглядным и снижает риски некорректной реализации типовых функций.

Отдельно описаны критерии оценки применимости и оценки уровня освоения образовательной технологии (листинг 2). Для таких оценок используются попытки, распределение которых важно для принятия решения по эффективности ОТ.

Листинг 2: Фрагмент кода реализации критериев применимости на языке Python

```
1. def could_be_effective(self, topics):  
2.     return topics.all.attempts.last(10).  
           right_distribution_failed_percentage(80)  
3. def is_effective(self, topics):  
4.     return topics.current.attempts.last(10).  
           right_distribution_failed_percentage(80)
```

Разработчик ОТ также может принять во внимание особенности работы в группе, зафиксировав правила формирования ИОТ с учетом динамики всей группы. Учет групповой динамики важен, поскольку работа происходит в рамках учебной программы курса. Например, если у всей группы возникает затруднение с каким-либо материалом, то его надо повторять сразу со всеми студентами, а не отдельно с каждым.

При формировании ИОТ соблюдаются следующие принципы.

1. Достижимость целей программы обучения: с учетом предложенного набора приемов и их параметров студент должен выполнять учебную программу согласно расписанию группы, чтобы завершить обучение в срок вместе с группой. Вариант досрочного завершения обучения в контексте обучения в группе не рассматривается, поскольку очные занятия синхронны для всей группы.

2. Минимизация трудозатрат студента: количество часов, затрачиваемых на подготовку, не должно превышать нагрузку, заложенную в программу. Однако студент может тратить меньше времени на подготовку к занятиям.

3. Минимальное количество и сложность образовательных технологий, используемых для построения ИОТ: при формировании индивидуального набора образовательных технологий необходимо стремиться к созданию минимального набора простых методов, подходящих для самостоятельного использования.

4. Универсальный набор образовательных технологий для построения ИОТ всех дисциплин: отличительной особенностью подхода является то, что набор образовательных технологий подбирается сразу для всех дисциплин, изучаемых студентом, при этом допускается, что не все образовательные технологии используются в каждой дисциплине.

5. Отсутствие фазы накопления данных и возможность холодного старта: ИОТ начинает формироваться сразу после начала обучения, начальный набор требуемых образовательных технологий может быть сформирован преподавателем при подготовке курса.

Одним из вариантов ускорения поиска ИОТ с учетом итерационного характера ее поиска является укрупнение ОТ. Для успешного применения образовательных технологий в системе необходимо обеспечить соответствие между сложностью, выраженной в количестве контролируемых аспектов образовательной технологии (приема обучения), и возможностями по контролю эффективности применения отдельных аспектов ОТ. Объединение нескольких простых ОТ в одну составную ОТ целесообразно, если в системе есть возможность оценить влияние на результат каждой ОТ в отдельности. При этом важно учитывать, что методы модификации учебных материалов и контроля результатов, комбинируемых ОТ, не должны конфликтовать (предлагать различные варианты адаптации учебного элемента). В базовой стратегии применения одна ОТ соответствует целому этапу, такому как изучение, закрепление и повтор (см. рис. 2). В более сложной стратегии ОТ могут комбинироваться по непротиворечивости формирующих воздействий и контрольных метрик. ОТ также может являться результатом направленного поиска индивидуальной комплексной ОТ для студента, которая будет представлять собой результат автоматического синтеза нового приема из нескольких существующих.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Описанный подход отличается от отслеживания или трассировки знаний, поскольку не предполагает оценки состояния знаний студента, хотя не исключает возможность оценки знаний по данным цифрового следа обучаемого, который при частой проверке знаний содержит актуальный срез знаний обучаемого. Применение модели памяти обучаемого на этапе повторения учебного элемента дает возможность также оценить, какие знания находятся в активном состоянии.

Предложенная система изначально предназначена для развития навыков самообразования. В процессе использования системы студент помимо освоения учебных материалов также обучается эффективным приемам самообучения. Рассмотренные выше исследования проводились для оценки эффективности алгоритмов обучения, но исследователи не оценивали развитие навыков самообучения при взаимодействии студентов с системой. В результате студент выполняет действия заложенного алгоритма, но не осознает шаги и особенности применяемой ОТ. В исследовании [20] студент самостоятельно определяет стратегию обучения для достижения своих целей, однако в предлагаемом подходе автоматизированная система помогает найти индивидуальную стратегию, обучает студента ее применению, что дает возможность контролировать не только результат обучения, но и способ получения результата.

Результаты обучения зависят от уровня мотивации студента и могут быть искажены в случае случайных ошибок и заимствований готовых решений. Проблема случайных ошибок решается на уровне образовательной технологии, которая должна быть устойчива к таким событиям. Проблема заимствования готовых ответов может быть решена генерацией уникальных заданий, а также проверкой на заимствование ответов по аналогичным заданиям в группе. В исследовании [20] предложено создать конкурентную среду внутри группы, в результате стратегия «поделиться результатом» для студента, ответившего правильно, становится невыгодной, что снижает мотивацию для разглашения ответов заданий.

В работе [22] рассмотрена связь адаптивного обучения с универсальными учебными (регулятивными) действиями. В отличие от универсального учебного действия предлагаемые автором образовательные технологии изначально

представляются комплексными понятиями, которые ближе по смыслу к приемам обучения как к части метода обучения, чем к атомарным универсальным учебным действиям. Однако разработчики образовательных технологий могут в качестве образовательных технологий реализовывать приемы обучения, направленные на освоение универсальных учебных действий. Противоречий здесь нет.

Отделение образовательных технологий от материалов курса с возможностью переносить ОТ на следующий или параллельный курс приближает предложенный подход к изначальной архитектуре адаптивного обучения, состоящей из моделей обучаемого, предметной области и самого обучения. В предлагаемом нами подходе модель предметной области представляет собой непосредственно адаптивные учебные материалы, модель студента – цифровой след обучения и подмножество образовательных технологий, а модель обучения – все множество образовательных технологий. Таким образом, в системе происходят сразу две адаптации: 1) на уровне учебных материалов, 2) адаптации образовательных технологий к особенностям и потребностям студента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенные подход и его реализация обладают хорошей интерпретируемостью, поскольку основаны на результатах хорошо интерпретируемых педагогических экспериментов. Преподаватели могут быть вовлечены в разработку и доработку готовых образовательных технологий, т.к. система предоставляет программный интерфейс для встраивания своих решений без привлечения разработчиков. Опыт Plagio показывает, что можно сформировать группу преподавателей для разработки учебных курсов, в данном случае – образовательных технологий.

В предложенном подходе формируемое подмножество ОТ ассоциировано со студентом и может переноситься на следующий и параллельный курсы, а также использоваться после вуза на курсах повышения квалификации. Такое отделение ОТ также дает возможность оценивать применимость образовательных технологий на всех автоматизированных курсах, на которых обучается студент, ускоряя процесс поиска индивидуального подмножества ОТ.

Описание модели обучения в виде набора образовательных технологий также дает возможность оценивать сроки завершения обучения с учетом индивидуальных параметров, подобранных алгоритмом, что позволяет на раннем этапе выявить студентов, которые потенциально не смогут успешно завершить курс.

Построенная система по сути является для студента рекомендательной – она помогает студенту осваивать материал конкретного курса и развивать навыки самообучения. Полученные навыки самообучения используются студентом там, где недоступны адаптивные технологии, например на специализированных курсах, для которых создание адаптивных курсов сейчас нецелесообразно из-за незначительной численности обучаемых.

Описание автоматизированных учебных технологий остается сложной задачей, доступной только преподавателям-исследователям. Однако масштабирование ее использования может быть реализовано с низким порогом входа без необходимости выполнять сложные конфигурирование или разрабатывать программные модули для автоматизированной системы. Описание образовательных технологий на языке Python дает низкий порог вхождения за счет простоты интерпретации описанного алгоритма.

Для реализации подобных технологий требуется большое количество проработанных учебных материалов различной степени детализации, с пошаговыми разборами и примерами. Важно также обеспечить вариативность заданий, чтобы снизить вероятность заимствования. Такой объем работы может быть выполнен только группой специалистов при подготовке типового курса.

Качественные учебные материалы все еще остаются ключевым фактором успеха при внедрении технологий индивидуализированного обучения. В предлагаемом подходе учебные материалы состоят из учебных элементов, которые разрабатываются централизованно группой преподавателей или экспертов, как в системе Plarío, что снижает индивидуальные трудозатраты каждого преподавателя при создании курса. Каждый учебный элемент должен поддерживать адаптивность, а также вариативность проверочных заданий. Основные трудозатраты сосредоточены на начальном этапе разработки учебного курса. Адаптация курса под программу конкретного учебного заведения является менее трудоем-

кой задачей за счет использования готовых блоков. Преимущество предлагаемого подхода состоит в том, что при его использовании не требуется сразу перерабатывать весь курс, а допускается постепенно трансформировать курс, начав с тем, вызывающих у студентов затруднения при изучении.

Для специализированных предметов старших курсов разработка учебных материалов в силу их узкой специализации является обязанностью отдельных преподавателей, но в этом случае снижаются требования к адаптивности и вариативности этих материалов, так как студенты должны активно использовать приемы самостоятельного обучения, освоенные на младших курсах.

Поскольку образовательные технологии отделены от учебных материалов, разработанные курсы ограниченно переносимы. Эти ограничения рассмотрены нами в работе [21].

Несмотря на активное развитие технологий генеративного искусственного интеллекта в образовании, вопросы качества учебных материалов находятся в зоне ответственности преподавателей, поэтому все результаты, приведенные выше, применимы также к использованию генеративного искусственного интеллекта.

Предложенная реализация накладывает определенные требования к учебному курсу не только с точки зрения гибкости учебных материалов, но и с позиции структуры проверочных заданий. Для снижения трудозатрат обучаемого на прохождение проверочных мероприятий задания должны становиться комплексными, чтобы студент показывал не только понимание только что завершенной темы, но и подтверждал, что он все еще понимает материал, изученный ранее (закрепление). Если подобные задания не получится внедрить в курс без существенного изменения его структуры, то такие задания должны выполняться студентом в рамках самостоятельной работы, например, при повторении ранее пройденного материала.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы государственного задания НИЦ «Курчатовский институт» – НИИСИ по теме № FNEF-2024-0001 (1023032100070-3-1.2.1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hoda H., Sujo-Montes L., Tu C.-H., Armfield S.J.W., and Yen C.-J.* Assessment and Learning in Knowledge Spaces (ALEKS) Adaptive System Impact on Students' Perception and Self-Regulated Learning Skills // Education Sciences. 2021. Vol. 11. No. 10. Article 603. <https://doi.org/10.3390/educsci11100603>
 2. *Lopes R.P., Mesquita C., de Góis L.A., dos Santos G. Júnior.* Students' learning autonomy: a systematic literature review // EDULEARN19 Proceedings. 2019. P. 5958–5964. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2019.1435>
 3. *Овезова У.А., Вагнер М.-Н.Л.* Формирование навыков самообразовательной деятельности студентов в условиях дистанционного образования // Мир науки, культуры, образования. 2021. -№ 2(87). С. 160–162. <https://doi.org/10.24412/1991-5497-2021-287-160-162>
 4. *Вайнштейн Ю.В., Есин Р.В., Цибульский Г.М.* Модель образовательного контента: от структурирования понятий к адаптивному обучению // Открытое образование. 2021. Т. 25. № 1. С. 28–39. EDN: CODQHI. <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2021-1-4-28-39>
 5. *Комлева Н.В., Вилявин Д.А.* Цифровая платформа для создания персонализированных адаптивных онлайн курсов // Открытое образование. 2020. Т. 24. № 2. С. 65–72. EDN: CWBDOO. <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2020-2-65-72>
 6. *Шамсутдинова Т.М.* Формирование индивидуальной образовательной траектории в адаптивных системах управления обучением // Открытое образование. 2021. Т. 25. № 6. С. 36-44. EDN: YPLVRY. <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2021-6-36-44>
 7. *Павлов А.Ф., Мякишева Ю.В., Родионова Г.Н.* Опыт применения технологии адаптивного обучения в образовательном процессе высшего учебного заведения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки. 2024. Т. 26. № 3(96). С. 70–76. EDN: HFAUJI. <https://doi.org/10.37313/2413-9645-2024-26-96-70-76>
 8. *Подколзин М.М.* Интеллектуальная система адаптивного обучения на основе нейронных сетей для персонализации образовательных траекторий студентов российских вузов // Информатика и образование. 2024. Т. 39 № 6. С. 65–81. <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-6-65-81>
-

9. *Зарипова З.Ф.* PLARIO как цифровой инструмент повышения уровня математической подготовки студентов-бакалавров первого курса // Казанский педагогический журнал. 2023. № 3(158). С. 131–139. EDN: ZDVOKN.

<https://doi.org/10.51379/KPJ.2023.160.3.017>

10. *Zhilmagambetova R. et al.* The Role of Adaptive Personalized Technologies in the Learning Process: Stepik as a Tool for Teaching Mathematics // International Journal of Virtual and Personal Learning Environments (IJVPLE). 2023. Vol. 13. No. 1. P. 1–15. <https://doi.org/10.4018/IJVPLE.324079>

11. *Садыкова А.Р., Трухманов Д.В.* Адаптивное обучение с использованием нейронных сетей: опыт и перспективы // Вестник МГПУ. Серия «Информатика и информатизация образования». 2025. № 2(72). С. 32–45.

<https://doi.org/10.24412/2072-9014-2025-272-32-45>

12. *Шудуева З.А., Миназова З.М., Харченко С.Б.* Роль адаптивных образовательных технологий в персонализации обучения // Проблемы современного педагогического образования. 2024. №84-1. С. 379–382. EDN: GISEIN.

13. *Qiu Y, Asniza IN, Zheng S.* The development of mathematics lesson plan integrated with Squirrel artificial intelligence in enhancing the fifth grade primary school students' cognitive development in Fujian Province, China // InProceedings of the 2024 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Education. 2024. P. 308–313. <https://doi.org/10.1145/3722237.3722290>

14. *Вилкова К.А., Лебедев Д.В.* Адаптивное обучение в высшем образовании: за и против // Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». Институт образования. М.: НИУ ВШЭ, 2020. 36 с. EDN: PYRWTW.

15. *Heift T.* Web Delivery of Adaptive and Interactive Language Tutoring: Revisited // International Journal of Artificial Intelligence in Education. 2015. Vol. 26. P. 489–503. <https://doi.org/10.1007/s40593-015-0061-0>

16. *Кречетов И.А., Романенко В.В.* Реализация методов адаптивного обучения // Вопросы образования. 2020. № 2. С. 252–277. EDN: KYNIII. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2020-2-252-277>

17. *Murre J.M.J., Dros J.* Replication and Analysis of Ebbinghaus' Forgetting Curve // PLoS ONE. Vol. 10. No. 7. Article e0120644.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120644>

18. *Piech C., Bassen J., Huang J. et al.* Deep Knowledge Tracing // Proc. 28th Int. Conf. Neural Information Processing Systems (NIPS 2015)). 2015. No. 1. P. 505–515.

19. *Abdelrahman G., Wang Q., Pereira N.B.* Knowledge tracing: A survey // ACM Computing Surveys. 2022. Vol. 55. No. 11. Article 224. P. 1–37.

<https://doi.org/10.1145/3569576>

20. *Чупин Н.А.* Конкурентная система оценивания учебных достижений студентов в контексте адаптивного обучения // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2023. № 6. С. 44–62.

<https://doi.org/10.24412/2304-120X-2023-11047>

21. *Дьяченко М.С., Леонов А.Г.* Решение задачи автоматизации учебного процесса с помощью экспериментального поиска индивидуальной образовательной траектории // Информатика и образование. 2024. Т. 39. № 4. С. 14–26. EDN: BMEVBI. <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-4-14-26>

22. *Фисенко Т.П.* Организация адаптивного обучения, направленного на развитие регулятивных универсальных учебных действий обучающихся основной школы (на примере обучения математике) // Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования. 2024. № 4(45). С. 215–220. <https://doi.org/10.36809/2309-9380-2024-45-215-220>

ALGORITHMS FOR INDIVIDUALIZING LEARNING BASED ON THE COMPOSITION OF THE RESULTS OF PEDAGOGICAL EXPERIMENTS

M. S. Diachenko^[0000-0002-5809-4981]

National Research Centre “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia

mdyachenko@vip.niisi.ru

Abstract

This paper presents various aspects of the practical implementation of individualized learning algorithms (based on the results of pedagogical experiments) for both teacher-led instruction (in the classroom, remotely, or in a hybrid mode) and independent student work. The described system simultaneously teaches students course materials and independent learning techniques — that is, educational technologies

that shape an individualized educational trajectory. A subset of educational technologies is determined individually for each student in the group. The educational technologies are independent of the course and universal, so they can be applied in subsequent or parallel courses. Teachers can describe new educational technologies as Python scripts without the involvement for developers. The proposed implementation integrates with the Mirera digital educational platform to expand the platform's capabilities.

Keywords: *individualization of learning, automated learning system, digital educational platform, adaptive learning.*

REFERENCES

1. Hoda H., Sujo-Montes L., Tu C.-H., Armfield S.J.W., and Yen C.-J. Assessment and Learning in Knowledge Spaces (ALEKS) Adaptive System Impact on Students' Perception and Self-Regulated Learning Skills // Education Sciences. 2021. Vol. 11. No. 10. Article 603. <https://doi.org/10.3390/educsci11100603>
2. Lopes R.P., Mesquita C., de Góis L.A., dos Santos G. Júnior. Students' learning autonomy: a systematic literature review // EDULEARN19 Proceedings. 2019. P. 5958–5964. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2019.1435>
3. Ovezova U.A., Wagner M.-N.L. The formation of students' self-educational skills in the context of distance education // The world of science, culture and education. 2021. No. 2(87). P. 160–162 (In Russian). <https://doi.org/10.24412/1991-5497-2021-287-160-162>
4. Vainshtein J.V., Esin R.V., Tsibulsky G.M. Learning content model: From concept structuring to adaptive learning. Open Education. 2021. Vol. 25. No. 1. P. 28–39. (In Russian) EDN: CODQHI. <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2021-1-4-28-39>
5. Komleva N.V., Vilyavin D.A. Digital platform for creating personalized adaptive online courses. Open Education. 2020. Vol. 24, No. 2. P. 65–72 (In Russian). EDN: CWBDOO. <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2020-2-65-72>
6. Shamsutdinova T.M. Formation of individual educational trajectory in adaptive learning management system. Open Education. 2021. Vol. 25. No. 6. P. 36–44 (In Russian). EDN: YPLVRY. <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2021-6-36-44>
7. Pavlov A.F., Myakisheva Yu.V., Rodionova G.N. The use of adaptive learning technology in the educational process of higher education institutions // Izvestia of

the Samara Science Centre of the Russian academy of science. Social, humanitarian, medicobiological sciences. 2024. Vol. 26. No. 3(96). P. 70–76 (In Russian). EDN: HFAUJI. <https://doi.org/10.37313/2413-9645-2024-26-96-70-76>

8. *Podkolzin M.M.* Intelligent Adaptive Learning System Based on Neural Networks for Personalization of Educational Trajectories of Russian University Students. Informatics and Education. 2024. Vol. 39 No. 6. P. 65–81 (In Russian). <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-6-65-81>

9. *Zaripova Z.F.* PLARIO as a digital tool for improving the level of mathematical training of first-year undergraduate students // Kazan Pedagogical Journal. 2023. No. 3(158). P. 131–139 (In Russian). EDN: ZDVOKN. <https://doi.org/10.51379/KPJ.2023.160.3.017>

10. *Zhilmagambetova R. et al.* The Role of Adaptive Personalized Technologies in the Learning Process: Stepik as a Tool for Teaching Mathematics // International Journal of Virtual and Personal Learning Environments (IJVPLE). 2023. Vol. 13. No. 1. P. 1–15. <https://doi.org/10.4018/IJVPLE.324079>

11. *Sadykova A.R., Trukhmanov D.V.* Adaptive learning using neural networks: experience and prospects // MCU Journal of Informatics and Informatization of Education. 2025. No. 2(72). P. 32–45 (In Russian). <https://doi.org/10.24412/2072-9014-2025-272-32-45>

12. *Shudueva Z.A., Minazova Z.M., Kharchenko S.B.* The role of adaptive educational technologies in the personalization of learning // Problems of modern teacher education. 2024. No. 84-1. P. 379–382 (In Russian). EDN: GISEIN.

13. *Qiu Y, Asniza I.N., Zheng S.* The development of mathematics lesson plan integrated with Squirrel artificial intelligence in enhancing the fifth grade primary school students' cognitive development in Fujian Province, China // In Proceedings of the 2024 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Education. 2024. P. 308–313. <https://doi.org/10.1145/3722237.3722290>

14. *Vilkova K.A., Lebedev D.V.* Adaptive learning in higher education: Pro et contra // Moscow, National Research University Higher School of Economics; 2020. 36 p. (In Russian). EDN: PYRWTW.

15. *Heift T.* Web Delivery of Adaptive and Interactive Language Tutoring: Revisited // International Journal of Artificial Intelligence in Education. 2015. Vol. 26. P. 489–503. <https://doi.org/10.1007/s40593-015-0061-0>

16. *Krechetov I.A., Romanenko V.V.* Implementing the adaptive learning techniques // Educational Studies. Moscow. 2020. No. 2. P. 252–277 (In Russian). EDN: KYNIH. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2020-2-252-277>

17. *Murre J.M.J., Dros J.* Replication and Analysis of Ebbinghaus' Forgetting Curve // PLoS ONE. Vol. 10. No. 7. Article e0120644. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0120644>

18. *Piech C., Bassen J., Huang J. et al.* Deep Knowledge Tracing // Proc. 28th Int. Conf. Neural Information Processing Systems (NIPS 2015)). 2015. No. 1. P. 505–515.

19. *Abdelrahman G., Wang Q., Pereira N.B.* Knowledge tracing: A survey // ACM Computing Surveys. 2022. Vol. 55. No. 11. Article 224. P. 1–37. <https://doi.org/10.1145/3569576>

20. *Chupin N.A.* Competitive assessment system of students' academic achievements in the context of adaptive learning // Scientific-methodological electronic journal "Koncept". 2023. No. 6. P. 44–62 (In Russian). <https://doi.org/10.24412/2304-120X-2023-11047>

21. *Diachenko M.S., Leonov A.G.* Solving the problem of automating the learning process through experimental search for an individual educational trajectory // Informatics and education. 2024. Vol. 39. No. 4. P. 14–26 (In Russian). EDN: BMEVBI. <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-4-14-26>

22. *Fisenko T.P.* Organization of Adaptive Learning Aimed at the Development of Regulatory Universal Educational Actions of Primary School Students (The Case of Teaching Mathematics) // Bulletin of the Omsk State Pedagogical University. Humanities studies. 2024. No. 4(45). P. 215–220 (In Russian). <https://doi.org/10.36809/2309-9380-2024-45-215-220>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ



ДЬЯЧЕНКО Михаил Сергеевич – закончил магистратуру в Московском государственном техническом университете «СТАНКИН» в 2006 г., в 2023 окончил аспирантуру по направлению 09.06.01 Информатика и вычислительная техника в НИИСИ РАН. В настоящее время инженер ОПИБ НИИСИ РАН, г. Москва. Область научных интересов: системы адаптивного обучения, распределенные системы управления.

Mikhail Sergeevich DIACHENKO – completed master's degree at the Moscow State Technical University "STANKIN" in 2006 and doctoral program in 2023 at the Scientific Research Institute of System Analysis and Control (SRISA RAS), specializing in Computer Science and Engineering (09.06.01). Currently an engineer at SRISA RAS, Moscow. Research interests: adaptive learning systems and distributed control systems.

email: mdyachenko@niisi.ru
ORCID: 0000-0002-5809-4981

Материал поступил в редакцию 4 марта 2026 года