

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРРЕКЦИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ В АДАПТИВНЫХ СИСТЕМАХ ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНОГО ПОДХОДА

М. С. Дьяченко¹ [0000-0002-5809-4981], **А. Г. Леонов**² [0000-0001-9622-1526]

^{1, 2}НИЦ «Курчатовский институт» – НИИСИ, г. Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

²Московский педагогический государственный университет,
г. Москва, Россия

²Государственный университет управления, г. Москва, Россия

¹mdyachenko@niisi.ru, ²dr.l@vip.niisi.ru

Аннотация

В условиях расширения применения адаптивных курсов в системе высшего образования актуальной становится проблема ранней идентификации отстающих студентов и автоматической коррекции их индивидуальной образовательной траектории. Существующие методы идентификации отстающих студентов не проводят глубокого анализа индивидуализированного подхода к обучению, используемого студентом. Применяемые обобщенные алгоритмы адаптивного обучения напрямую не решают задачу идентификации отстающих студентов, что может привести к позднему их обнаружению, когда уже нет возможности скорректировать подход к обучению для успешного завершения курса такими студентами.

Разработаны алгоритмы выявления отставания студента при освоении учебной дисциплины, основанные на прогнозировании результатов индивидуализированного обучения с использованием модели предметной области. Предложены также алгоритмы автоматической коррекции индивидуальной образовательной траектории, которые, в отличие от существующих подходов, формируют индивидуальную образовательную технологию для обеспечения успеш-

ного завершения учебного курса. Эти алгоритмы могут быть внедрены в существующие адаптивные системы обучения для повышения доли студентов, успешно завершивших обучение на адаптивных курсах.

Ключевые слова: адаптивное обучение, идентификация отстающих студентов, индивидуальная образовательная траектория.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из ключевых проблем обучения в вузе остается раннее выявление отстающих студентов, которые потенциально не смогут успешно завершить учебный курс. Раннее выявление таких студентов дает преподавателю возможность уделять им больше внимания для устранения отставания.

При аудиторной работе преподавателя с группой основным средством выявления отстающих студентов являются промежуточные проверки в виде контрольных работ, семинаров, а также выборочная проверка студентов при работе в аудитории.

Для масштабирования подготовки специалистов высшими учебными заведениями активно применяются автоматизированные системы обучения в гибридном формате, что дало возможность увеличить частоту контрольных мероприятий за счет автоматизации верификации приобретенных компетенций, а также за счет проведения проверок знаний в том числе при самостоятельной работе студентов, например, при выполнении домашних заданий.

Автоматизированная проверка знаний не решает проблему раннего выявления отстающих студентов, поскольку важны не только результаты, демонстрируемые студентами, но и их поведение в процессе обучения. Поэтому автоматизированные системы обучения собирают цифровой след обучения, на основе анализа которого формируются гипотезы о вероятности успешного завершения обучения на курсе конкретным студентом.

Подходы к автоматизации раннего выявления отстающих студентов методами прогнозирования можно условно разделить по времени получения первых сигналов об отставании: до начала обучения, в этом случае используются предыдущие результаты обучения студентов и их демографические данные; в процессе обучения, которые, в свою очередь, делятся на методы выявления:

- по фактически демонстрируемым результатам (воспроизводят традиционные методы оценки преподавателя при аудиторной работе);
- по демонстрируемому поведению.

В зарубежной литературе можно встретить понятие детектора отчисления (dropout detector), поскольку обсуждаемые методы предназначены для выявления не отстающих студентов, а имеющих высокую вероятность отчисления из-за неуспеваемости. Такие методы получили развитие для МООС (massive open online course), больших открытых онлайн-курсов, поскольку в условиях отсутствия аудиторной работы с обучаемыми владельцам онлайн-курсов и платформ важно выявлять отстающих студентов и стимулировать их завершать учебные курсы [1–3]. По мере внедрения гибридных форматов обучения в высшие учебные заведения в них также стали использоваться аналогичные методы [4, 5].

К первой категории методов выявления отстающих студентов относятся методы получения первых сигналов об отставании до начала обучения, например, по ранее продемонстрированным результатам и демографическим данным [6]. Более сложные варианты детекторов используют искусственные нейронные сети [7]. Оценки на основе поведения могут быть эвристическими правилами, например, когда студент просто перестал выполнять задания или делает это нерегулярно, а также более сложными, использующими методы анализа временных рядов, извлекаемых из цифрового следа обучения [8].

В системах адаптивного обучения раннее выявление отстающих студентов можно осуществлять алгоритмически на уровне технологии адаптации. Адаптивный алгоритм доходит до состояния, в котором не может предложить студенту продолжение индивидуальной траектории обучения. Для раннего выявления отстающих студентов требуется специальная настройка алгоритма именно для выявления подобных случаев, иначе отставание будет обнаружено поздно, например после многократных безуспешных попыток изучения студентом очередного блока учебного материала.

После выявления отстающих студентов в адаптивных системах обучения возникает необходимость коррекции их индивидуальных образовательных траекторий. Выявленное отставание является в том числе результатом применения алгоритма адаптации, реализуемого адаптивной системой обучения. Изменение алгоритма адаптации не предусмотрено, так как в большинстве случаев это

параметрический алгоритм с ограниченными возможностями по регулированию. В такой ситуации прибегают к педагогическому воздействию для возвращения обучаемого на общую траекторию обучения группы, т. е. для возвращения в границы регулирования, допускаемые адаптивным алгоритмом. Если не выполнить коррекцию, то возникают отставание или пропуск по одной из тем курса, либо общее отставание по всему оставшемуся материалу курса. Отстающие студенты могут потерять мотивацию к обучению и завершению курса, что потенциально ведет к их отчислению.

Отставание студентов может быть вызвано несколькими основными причинами, в числе которых:

- пробелы в пререквизитах для изучения очередного курса: для решения этой проблемы применяют выравнивающие курсы, которые обеспечивают минимальный общий уровень знаний всех обучаемых на момент начала курса;
- отсутствие мотивации к обучению – это отдельная проблемная область; отметим, что возможность самостоятельно успешно учиться является сильным мотиватором;
- неэффективный индивидуализированный подход к обучению студента: используемый подход к обучению не позволяет получать требуемые результаты за предусмотренное планом время обучения; решение именно этой проблемы рассмотрено в настоящей работе.

Все вышеперечисленное объединяет использование цифрового следа обучения студента без учета подходов к его обучению. Автоматизированная система реализует технологию обучения: система предлагает студенту выполнять задания, которые он успешно или неуспешно выполняет (возможно, даже пропускает), но при этом не оценивает индивидуализированный подход к обучению и потенциальную возможность удачно завершить учебных курс, применяя сформированный индивидуализированный подход к обучению.

В условиях расширения применения систем адаптивного обучения актуальной становится реализация аналитико-эвристических решений для раннего выявления отстающих студентов и своевременного информирования преподавателей о необходимости коррекции индивидуализированного подхода к обучению студента. В условиях масштабирования подготовки специалистов преподаватель не имеет возможности точно работать с каждым студентом, поэтому

также актуальной становится проблема автоматической коррекции индивидуализированного подхода к обучению студента после выявления отставания.

Целями настоящего исследования были разработка подхода и алгоритма для выявления отстающих студентов в системах адаптивного обучения с использованием анализа индивидуализированного подхода к их обучению, а также разработка алгоритма автоматической коррекции индивидуальной образовательной траектории отстающих студентов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Нами был разработан композитный подход к формированию индивидуальной образовательной технологии (ИОТ) в рамках адаптивных систем обучения [9]. Принципиальным методологическим вопросом является разграничение понятий «индивидуальная образовательная технология» и «индивидуальная траектория обучения». Здесь ИОТ рассматривается как совокупность педагогических приемов, отобранных и валидированных с учетом индивидуальных характеристик обучающегося и специфики учебных задач курса. Композитный подход предполагает автоматизированное формирование подмножества педагогических приемов, релевантных когнитивным характеристикам и академическим достижениям студента. Отбор приемов опирается на результаты ранее проведенных педагогических экспериментов. Последние служат основой для формирования гипотезы о применимости конкретного приема для решения выявленных образовательных затруднений студента. Сам процесс проверки гипотезы является итеративным циклом, интегрированным в средства обучения (цифровые платформы). Сначала применяется некий выбранный прием, при этом накапливаются (первичные) данные об эффективности его использования. Для ускорения формирования данных наблюдение ведется одновременно на нескольких учебных курсах. На этой стадии объемов данных еще недостаточно для проведения статистически значимой оценки, поэтому для проверки гипотезы используются эвристические правила либо методы машинного обучения. Ключевым эвристическим критерием выступает фиксация наблюдаемых положительных изменений в учебной деятельности студента, например, перехода от неспособности выполнить задание к успешному его выполнению при повышении детализа-

ции подачи материала. В случае устойчивости такого эффекта применение приема продолжается. Если же многократное использование приема (например, повышение детализации содержания материала) не приводит к наблюдаемым изменениям, прием отклоняется и фокус переключается на альтернативные приемы (например, пошаговый разбор решений заданий).

По мере продолжения учебного процесса объем данных об использовании приемов постепенно увеличивается, однако на промежуточных этапах он по-прежнему не достигает уровня, необходимого для формирования статистически значимых выводов. Тем не менее накопленные наблюдения позволяют выстраивать динамическую модель эффективности приемов и корректировать состав ИОТ в режиме реального времени.

Важным свойством разработанной ИОТ является ее интерпретируемость и возможность декомпозиции. Под интерпретируемостью понимается возможность оценить состав индивидуальной образовательной технологии, условия и основания выбора каждого автоматизированного приема обучения, а также оценить его влияние на результаты конкретного студента. Поскольку каждый компонент технологии имеет экспериментальное обоснование, представляется возможным выделить причинно-следственные связи между применяемыми педагогическими приемами и наблюдаемыми образовательными эффектами. Декомпозиция ИОТ позволяет не только обеспечить прозрачность для педагога рекомендаций адаптивной системы, но и формализовать логику выбора методов обучения, что создает основу для моделирования применения ИОТ к оставшейся части учебного курса. Прогностическая модель строится на экстраполяции эффективности валидированных приемов на новые учебные материалы с учетом текущих академических показателей студента и динамики его образовательных результатов.

В настоящей работе применялись методы системного анализа и математического моделирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Далее под отставанием студента будет пониматься такое состояние его индивидуализированного процесса обучения, что при продолжении обучения

цели обучения не могут быть достигнуты. Под целями понимается как глобальная цель успешного завершения курса, так и локальные цели изучения отдельных ключевых материалов курса и подготовки к промежуточным контрольным мероприятиям. Поскольку материалы адаптивных курсов организованы в виде системы связанных учебных блоков, переход от одного к следующим возможен только при завершении всех предыдущих блоков, отставание в изучении одного из них даже при разбивке всего курса на независимые блоки, например, темы, приводит к общему отставанию по курсу.

Общий алгоритм выявления отставания и коррекции индивидуальной образовательной технологии включает следующие шаги.

1. Проверка достижимости целей обучения: соотнесение текущей индивидуальной образовательной технологии с учебным материалом, оставшимся для изучения. Проверка выполняется реактивно при появлении событий из системы обучения, формируемых в результате взаимодействия студента с адаптивным курсом, а также при получении специального события «пропуска действия», когда студент не выполнил какие-либо ожидаемые (запланированные) действия в системе, например, не выполнил домашние задания или не повторил материал.

а. В случае, если в результате проверки все цели обучения достижимы, далее никакие действия не выполняются, и при следующем событии возвращаемся к п. 1.

б. В случае, когда какие-либо цели обучения не могут быть достигнуты при применении текущей индивидуальной образовательной технологии, осуществляется переход к п. 2.

2. Коррекция индивидуальной образовательной технологии для обеспечения достижения всех поставленных целей обучения.

а. Возможна ситуация, в которой система не может предложить индивидуальную образовательную технологию с учетом ограничений. В этом случае преподаватель получает уведомление о необходимости вмешаться в процесс обучения с целью коррекции индивидуализированного подхода к обучению.

В рамках проведенного исследования к алгоритму выявления отстающих студентов установлены следующие требования:

- определение отставания по результатам анализа цифрового следа, собираемого при взаимодействии с адаптивным курсом на аудиторных занятиях и при самостоятельной работе студента;
- предоставление преподавателю интерпретируемых результатов анализа об отставании студента;
- выявление отставания до проведения контрольных мероприятий не позднее этапа подготовки к ним, когда еще может быть выполнено корректирующее действие;
- учет индивидуальной образовательной технологии обучаемого при оценке отставания.

Алгоритм выявления отстающих студентов реализован с использованием композитного подхода к формированию индивидуальной образовательной технологии. Моделируется несколько сценариев применения ИОТ для формирования прогнозируемой индивидуальной образовательной траектории для оценки достижимости целей обучения.

На вход этого алгоритма передаются следующие данные:

- индивидуальное расписание с контрольными точками курса; последние формируются по данным расписания адаптивного курса;
- данные о стадии изучения учебных элементов курса, поскольку важно учитывать также повторы ранее изученного материала для закрепления;
- модель индивидуальной образовательной технологии студента;
- ресурсный календарь студента: ограничения времени, которое может быть затрачено на обучение на адаптивном курсе.

Алгоритм выявления отставания включает следующие этапы.

1. Формирование множества имитаторов студента для моделирования, воспроизводящих различные сценарии поведения студента (модель поведения на основе исторических данных, пессимистичный и оптимистичные варианты отклонения от этой модели).
2. Для каждого имитатора студента выполняется цикл моделирования.
3. Полученные данные оцениваются по критериям:
 - достижимость целей обучения по контрольным датам;

– соответствие требуемых ресурсов ограничению ресурсного календаря студента.

4. В случае, если по результатам моделирования с использованием всех имитаторов критерии из п. 3 выполнены, то не требуется коррекции индивидуальной образовательной траектории. В обратном случае коррекция необходима.

Структура реализации алгоритма выявления отставания представлен на рис. 1.

Алгоритм коррекции индивидуальной образовательной технологии заключается в изменении набора приемов обучения, формирующих индивидуальную образовательную технологию. Каждый автоматизированный прием обучения содержит следующие методы для оценки его применимости, оптимизации использования и оценки эффективности.

1. Метод оценки применимости анализирует накопленные данные и возвращает свою оценку того, насколько эффективен данный прием обучения для студента.

2. Метод оптимизации формирует набор индивидуальных параметров для автоматизированного приема обучения, которые надо применить и оценить по результатам полученного эффекта от предложенных изменений. Оптимизация направлена на сокращение времени обучения как ключевого ресурса студента.

3. Метод оценки эффективности по реализации аналогичен методу оценки применимости. Эффективность оценивается совместно с оптимизацией, при этом возможна ситуация, когда эффективность приема обучения окажется ниже порогового значения, в результате чего будет запущена процедура коррекции ИОТ. Основным отличием оценки эффективности от оценки применимости является возможность накопления данных о влиянии приема обучения на результаты студента.

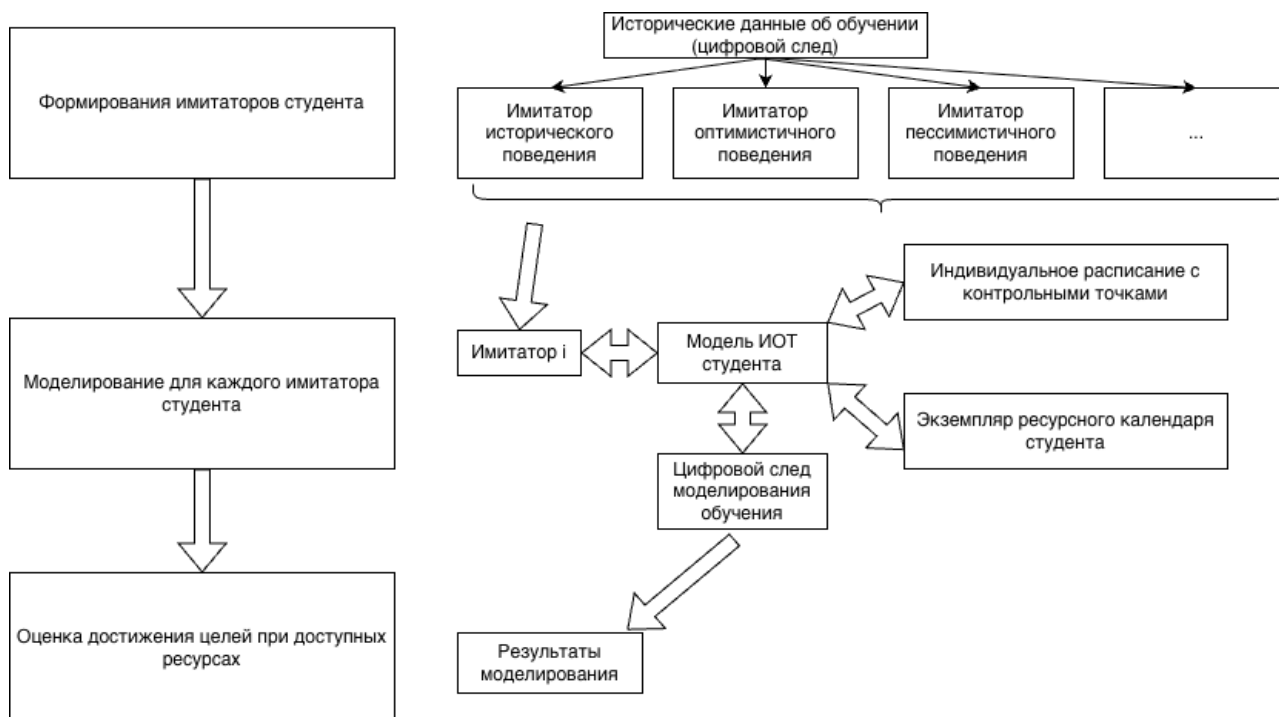


Рис. 1. Структура реализации алгоритма выявления отставания.

Нами не рассматривались конкретные приемы обучения. Процесс отбора приемов идет непрерывно, поскольку помимо выявления отставания проводится оценка эффективности отдельных приемов.

Процесс коррекции схож по структуре с процессом выявления отставания и также содержит этап моделирования и анализа результатов моделирования (рис. 2). Поскольку обучение идет на нескольких курсах параллельно, моделирование и коррекция выполняются для всех курсов.

Отличие процесса отбора приемов в процессе поиска индивидуальной образовательной технологии от коррекции ИОТ заключается в снижении порога оценки эффективности, что приводит к активизации процесса оптимизации и формирования подмножества приемов обучения.

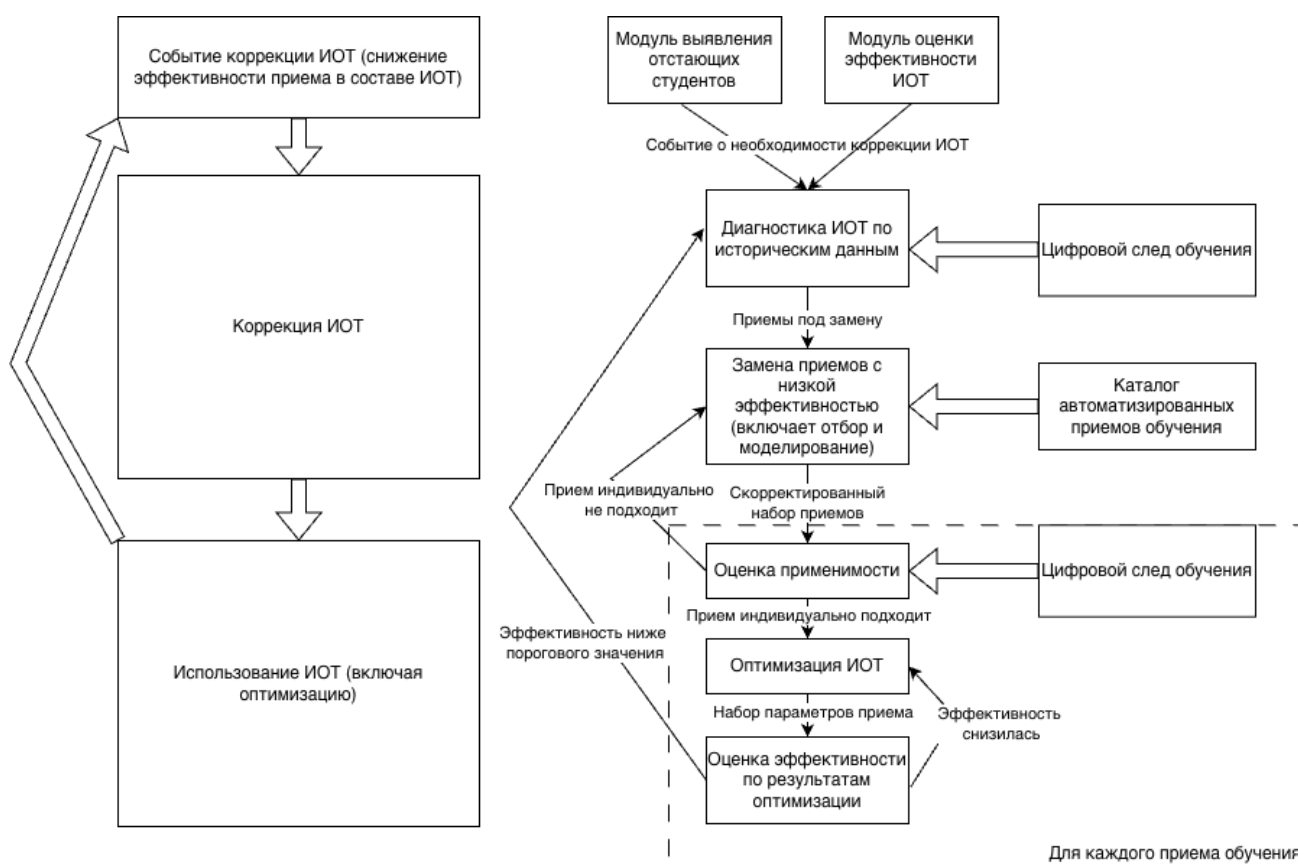


Рис. 2. Структура схемы коррекции индивидуальной образовательной технологии.

Перечислим особенности алгоритмов выявления отставания и коррекции ИОТ:

- с учетом того, что ИОТ формируется непрерывно, часть исторических данных может относиться к одной из предыдущих конфигураций ИОТ;
- в цифровой след включаются данные всех учебных курсов, на которых применялась ИОТ;
- в процессе моделирования не учитываются дальнейшее изменение ИОТ, а также оптимизация элементов ИОТ, которая может только улучшить результаты, но среднесрочно не ухудшит их.

Ключевым методом является оценка применимости. Сложность реализации здесь заключается в том, что для оценки применимости нет возможности длительно накапливать данные для анализа, решение должно быть принято по единичным случаям применения приема обучения студентом.

Выделим требования к реализации метода оценки применимости:

- оценка применимости выполняется на основании детального цифрового следа обучения, содержащего данные о действиях обучаемого в системе в процессе подготовки, решения задания и ознакомления с результатами проверки;
- оценка применимости дается по одному или нескольким использованиям приема обучения, поскольку курс ограничен по длительности;
- оценка применимости выполняется по данным нескольких параллельных курсов;
- оценка применимости формируется на основании данных педагогических экспериментов;
- рекомендуемый вариант реализации метода – это автоматическое формирование по данным эксперимента без необходимости программирования.

Для решения такой задачи могут быть использованы средства анализа цифрового следа методами машинного обучения и/или с использованием технологий глубокого обучения. Обучение выполняется на всех данных экспериментов с целью формирования детектора поведенческих моделей, которые далее дообучаются для оценки применимости и эффективности для конкретного автоматизированного приема обучения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

В качестве цифровой экосреды в вузах часто выбираются системы управления обучением, LMS (Learning Management System), такие, например, как Moodle [10]. Однако подобный подход фактически копирует структурные взаимодействия классического учебного процесса университетов в цифровую форму. При этом современные средства обучения дают педагогу гораздо более развитые инструменты, меняющие формы и методы обучения и способные обеспечить гибкость, инклюзивность, омниканальность образовательного процесса в целом, что позволяет формировать персональный опыт обучаемого [11]. Такие цифровые образовательные системы носят название платформ образовательного опыта LXP (Learning Experience Platform). В отличие от LMS, они обеспечивают формирование рассматриваемого опыта обучающегося с помощью автоматического агрегирования разнородного целевого учебного контента, анализа

интересов обучаемого, дефицитов его компетенций и персональной образовательной активности. Предоставление рекомендаций студенту, инструментов коммуникации, рефлексии и возможности самостоятельного конструирования индивидуальной образовательной траектории помогает последнему приобрести целевые компетенции, индивидуализируя учебный процесс [12].

Дальнейшим развитием платформы образовательного опыта является LXP+ (Learning Experience Platform Plus), которая включает новационные цифровые решения как расширение базовой модели LXP за счет глубокой интеграции элементов искусственного интеллекта, расширения спектра поддерживаемых образовательных межпредметных сценариев и включения самой платформы в экосистему непрерывного обучения и деятельности студента. К платформам LXP+ относится авторская разработка – цифровая образовательная платформа (ЦОП) Мирера [13].

Весной 2024 г. в Государственном университете управления, г. Москва, был проведен эксперимент по оценке реализуемости предложенного подхода для магистров первого года обучения. Использовалась технология «перевернутый класс» и был разработан автоматизированный курс «Современные технологии разработки программного обеспечения». К особенностям программы курса можно отнести небольшой объем аудиторных часов при существенном объеме самостоятельной работы. Магистранты перед занятием получали материалы для самостоятельной проработки, после чего проводилось аудиторное занятие для разбора и обсуждения материалов. В процессе подготовки к занятиям и по результатам аудиторных занятий собиралась обратная связь, по итогам которой с учетом собираемых данных об активности магистрантов в ЦОП Мирера были внесены корректировки в учебные материалы. Корректировки в материалы курса вносились вручную, имитируя частично работу описанного выше алгоритма.

При проектировании курса использовались учебные материалы, по форме и содержанию приближенные к специализированным первоисточникам. После выявления недостаточной скорости освоения нового материала была скорректирована разбивка занятий для выделения большего количества времени для работы, как выяснилось, со сложным для восприятия материалом. Часть материала, ранее рассмотренного в других дисциплинах, наоборот, была сокращена

для высвобождения времени для нового материала. Неожиданным оказалось, что магистранты ограничивались адаптированными учебными материалами и не прибегали к первоисточникам, содержащим углубленный материал по теме. Учебные материалы были адаптированы по объему и сложности под ограничения времени, которое магистранты фактически могли были потратить на подготовку к занятиям по данной учебной дисциплине без ущерба другим учебным дисциплинам.

По результатам курса четверо из пяти магистрантов в группе успешно завершили курс, еще одному магистранту потребовалось дополнительное время для подготовки к экзамену. Магистранты положительно отзывались об опыте, полученном на данном курсе, но отметили, что это был их первый «перевернутый класс», а также, что данный формат предполагает большой объем самостоятельного изучения нового материала в формате, близком к первоисточнику, что потребовало регулярного выделения времени на подготовку к занятиям.

По результатам эксперимента были сделаны следующие наблюдения и выводы.

1. Большой объем самостоятельной работы для подготовки к занятиям фактически требует от магистрантов составления личного расписания подготовки с явным выделением времени и отслеживанием прогресса по этому расписанию.

2. Отсутствие реперных точек подготовки к перевернутому классу приводит к устойчивому паттерну «просмотреть материалы в последний момент», причем в конкретном случае паттерн наблюдался у магистрантов со средней и хорошей успеваемостью. В экспериментальной группе было 1–2 магистранта, которые планомерно готовились к занятию, однако остальные готовились непосредственно накануне занятия.

3. Отсутствие контроля методов обучения, применяемых при самостоятельной работе магистрантов, не позволяет уверенно сказать, насколько они проработали материал, даже если были подготовлены материалы, обязательные для допуска к занятию.

4. Паттерны поведения магистрантов устойчивы и предварительно могут применяться для имитатора при реализации детектора индивидуального отставания.

5. Необходимо экспериментально проверить предлагаемый подход на прототипе для практического подтверждения основных положений и решений.

ЭТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

К этическим аспектам адаптивных систем принято относить защиту цифрового следа обучения и персональных данных, интерпретируемость применяемых алгоритмов, алгоритмическую предвзятость, а также психологический комфорт и социализацию.

Предлагаемое решение позволяет обеспечить защиту чувствительных и персональных данных обучаемых, непосредственная обработка которых может выполняться в контуре учебного заведения без необходимости передачи этих данных в сторонние системы.

При построении предлагаемого решения были использованы интерпретируемые педагогические эксперименты. Оценка применимости использует технологии глубокого обучения, результаты применения которой дополнительно оценивались с использованием эвристических алгоритмов. Преподаватель курса на свое усмотрение также может вносить изменения в ручном режиме.

Для снижения влияния алгоритмической предвзятости при создании решения используются только данные о поведении пользователей, без учета их пола, возраста, национальности или социально-экономического статуса.

Решение применяется при обучении в группе с участием преподавателя. При работе с решением проводятся аудиторные занятия. Разрабатываемые для решения курсы по учебным дисциплинам могут содержать элементы группового взаимодействия обучаемых при решении задач.

При разработке системы анализируются риски и меры по их смягчению, так, в случае обнаружения негативного влияния решения на учебный процесс предусмотрено информирование преподавателя курса и возможность перевода системы в ручной режим управления.

ОБСУЖДЕНИЕ

Предложенный подход является развитием существующих систем адаптивного обучения и предлагает использование модели обучения на основе композитного подхода для выявления отстающих студентов и последующей коррекции их индивидуальных образовательных технологий.

Явным отличием от методов на основе анализа цифрового следа является факт оценки моделирования сценариев завершения курса с учетом используемой технологии обучения по цифровому следу как источнику исторических данных. Таким образом, процесс оценки является полностью интерпретируемым и может настраиваться в ручном режиме. Так, например, можно установить дату завершения обучения до даты фактического завершения курса для повышения вероятности завершения обучения в указанные сроки.

В отличие от эвристических подходов [14], предложенный подход автоматически формирует методы оценки применимости, хотя не исключает для реализации использования описанных методов программирования эвристических правил.

Проблема «холодного старта» решена за счет применения ИОТ, переносимой между курсами. В новом курсе происходит уточнение ИОТ. Для запуска решения на первичном курсе набор базовых приемов обучения может быть задан преподавателем самостоятельно.

Вопросы коррекции технологии обучения в адаптивных системах ограничено рассматриваются на уровне настройки параметризованных алгоритмов обучения, как правило, в системах реализуется несколько фиксированных алгоритмов, что снижает общую гибкость такого решения. Например, методы повторов на основе кривых забывания предлагают построение оптимальной траектории обучения, однако речь идет только об одном из приемов, изменение которых в системе не предусмотрено [15].

В отличие от систем с моделями обучения на основе технологии глубокого обучения [16], предложенный подход, во-первых, не требует накопления больших объемов данных для создания модели, во-вторых, переносим между различными курсами. Проблема такой межкурсовой адаптации рассматривается, например, в специализированных технических решениях [17], однако даже в этом случае требуется длительное накопление данных для адаптации модели под новый курс. При этом не рассматриваются вопросы переиспользования цифрового следа обучаемых для набора смежных курсов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход обладает хорошей интерпретируемостью и может быть применен для реализации современной системы адаптивного обучения. Интерпретируемость достигается за счет декомпозиции индивидуальной образовательной технологии на отдельные приемы обучения, полученные в результате педагогических экспериментов.

Использование формализованной образовательной технологии также дает возможность выполнять моделирование ее применения, которое используется для выявления отстающих студентов и коррекции их подхода к обучению.

Методы оценки применимости отбираемых в процессе формирования индивидуальной образовательной технологии приемов обучения построены на основе анализа цифрового следа обучения, включая анализ поведенческих особенностей студента. Для отдельных вариантов использования приема обучения необходимо выполнять оценку. Для реализации методов оценки применимости могут быть использованы эвристические методы, но более перспективным выглядит использование технологии глубокого обучения. Сначала модель обучается на данных педагогических экспериментов для выявления общих закономерностей и признаков применимости, после чего выполняется дообучение модели под конкретный прием обучения.

Предложенный подход может быть внедрен в существующие системы адаптивного обучения при наличии сбора детального цифрового следа обучения и поддержки управляемых методов адаптации.

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. *Isidro C., Carro R. M., Ortigosa A.* Dropout Detection in MOOCs: An Exploratory Analysis // 2018 International Symposium on Computers in Education (SIIE), Jerez, Spain, 2018, P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/SIIE.2018.8586748>
2. *Whitehill J., Mohan K., Seaton D., Rosen Y., Tingley D.* Delving Deeper into MOOC Student Dropout Prediction, arXiv:1702.06404 [cs.AI], 2017.

<https://doi.org/10.48550/arXiv.1702.06404>

3. *Dass S., Gary K., Cunningham J.* Predicting Student Dropout in Self-Paced MOOC Course Using Random Forest Model // Information. 2021. Vol. 12, 476.

<https://doi.org/10.3390/info12110476>

4. *Anh B.N., Giang N.H., Hai N.Q., Minh T.N., Son N.T., Chien B.D.* An University Student Dropout Detector Based on Academic Data // 2023 IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications (ISIEA), Kuala Lumpur, Malaysia, 2023. P. 1–8.

<https://doi.org/10.1109/ISIEA58478.2023.10212223>

6. *Shohag S.I., Bakaul M.A.* Machine Learning Approach to Detect Student Dropout at University // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. 2021. Vol. 10, No. 6.

<https://doi.org/10.30534/ijatcse/2021/041062021>

6. *Oancea B., Dragoescu R., Ciucu S.* Predicting Students' Results in Higher Education Using Neural Networks // International Conference on Applied Information and Communication Technologies (AICT2013), 25–26 April, 2013, Jelgava, Latvia. https://ilufb.llu.lv/conference/AICT/2013/Oancea_AICT2013.pdf (дата обращения: 25.06.2026)

7. *Леонов А.Г., Матюшин М.А., Дьяченко М.С.* Об опыте построения априорной оценки успеваемости студентов в системе Мирера с использованием нейронных сетей // Успехи кибернетики. 2021. Т. 2, № 4. С. 49–59.

<https://doi.org/10.51790/2712-9942-2021-2-4-5>

8. *Мащенко К.А.* Сигнатурные методы анализа временных рядов. Электронные библиотеки. 2025. Т. 28, № 3. С. 681–700. <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2025-28-3-681-700>.

9. *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. <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-4-14-26>

10. *Карманова Е.В., Захарова Я.М., Киселев А.В.* Интеллектуальный анализ образовательных результатов студентов университета с использованием LMS Moodle // Информатика и образование. 2024. Т. 39, № 3. С. 16–28.

<https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-3-16-28>

11. *Леонов А.Г., Мащенко К.А., Тарасова Е.Ю.* Новая архитектура образовательных платформ в эпоху цифровой трансформации: парадигмы *polms* и *smart lms* // Труды НИИСИ. 2025. Т. 15, № 2. С. 54–59.

[https://doi.org/ 10.25682/NIISI.2025.2.0007](https://doi.org/10.25682/NIISI.2025.2.0007)

12. *Dahal, P., Nugroho, S., Schmidt, C., Sanger, V.* AI-Based Learning Recommendations: Use in Higher Education // *Future Internet*. 2025. Vol. 17, No. 7.

<https://doi.org/10.3390/fi17070285>

13. *Васильев И.А., Караваева А.С., Леонов А.Г. и др.* О нововведениях в цифровой образовательной платформе Мирера // Труды НИИСИ РАН. 2023. Т. 13, № 4. С. 127–134. <https://doi.org/10.25682/NIISI.2023.4.0018>

14. *Вайнштейн Ю.В.* Педагогическое проектирование персонализированного адаптивного предметного обучения студентов вуза в условиях цифровизации: диссертация доктора педагогических наук. Красноярск, 2021. 425 с.

15. *Кречетов И.А., Романенко В.В.* Реализация методов адаптивного обучения // Вопросы образования. 2020. № 2. С. 252–277.

<https://doi.org/10.17323/1814-9545-2020-2-252-277>

16. *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.

17. *AdaptKT: A Domain Adaptable Method for Knowledge Tracing / S. Cheng, Q. Liu, E. Chen et al.* Текст : электронный // *Proceedings of the Fifteenth ACM International Conference on Web Search and Data Mining : WSDM '22.* – New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022. AdaptKT. P. 123–131.

AUTOMATIC CORRECTION OF INDIVIDUAL EDUCATIONAL TRAJECTORY IN ADAPTIVE LEARNING SYSTEMS BASED ON A COMPOSITE APPROACH

M. S. Diachenko¹ [0000-0002-5809-4981], A. G. Leonov² [0000-0001-9622-1526]

^{1, 2}*NRC «Kurchatov Institute» – SRISA, Moscow, Russia*

²*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

²*Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russia*

²*State University of Management, Moscow, Russia*

¹*mdyachenko@niisi.ru, ²dr.l@vip.niisi.ru*

Abstract

In the context of the expanding use of adaptive courses in higher education, the problem of early identification of underperforming students and automatic adjustment of their individual educational trajectory becomes increasingly relevant. Existing methods for identifying underperforming students do not provide an in-depth analysis of the individualized learning approach employed by the student. The generalized adaptive learning algorithms currently in use do not directly address the task of identifying underperforming students, which may lead to their late detection – by which time it is no longer possible to adjust the students' approach to learning to ensure successful course completion. The identified problem requires an immediate solution.

The aim of the study was to develop algorithms for identifying underperforming students in adaptive learning systems using a composite approach – based on analysing the individualized learning approach and enabling automatic adjustment of the individual educational trajectory to ensure successful course completion. The developed algorithms detect student underperformance in mastering an academic discipline by predicting the outcomes of individualized learning using a domain model. In addition, algorithms for the automatic adjustment of the individual educational trajectory have been proposed. Unlike existing approaches, these algorithms generate an individualized educational strategy to ensure successful completion of the course. These algorithms can be integrated into existing adaptive learning systems to increase the proportion of students who successfully complete adaptive courses.

Keywords: *adaptive learning, identification of underperforming students, individualized educational trajectory.*

REFERENCES

1. *Isidro C., Carro R. M., Ortigosa A.* Dropout Detection in MOOCs: An Exploratory Analysis // 2018 International Symposium on Computers in Education (SIIE), Jerez, Spain, 2018, P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/SIIE.2018.8586748>
2. *Whitehill J., Mohan K., Seaton D., Rosen Y., Tingley D.* Delving Deeper into MOOC Student Dropout Prediction, arXiv:1702.06404 [cs.AI], 2017. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1702.06404>
3. *Dass S., Gary K., Cunningham J.* Predicting Student Dropout in Self-Paced MOOC Course Using Random Forest Model // Information. 2021. Vol. 12, 476. <https://doi.org/10.3390/info12110476>
4. *Anh B.N., Giang N.H., Hai N.Q., Minh T.N., Son N.T., Chien B.D.* An University Student Dropout Detector Based on Academic Data // 2023 IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications (ISIEA), Kuala Lumpur, Malaysia, 2023. P. 1–8. <https://doi.org/10.1109/ISIEA58478.2023.10212223>
5. *Shohag S.I., Bakaul M.A.* Machine Learning Approach to Detect Student Dropout at University // International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. 2021. Vol. 10, No. 6. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2021/041062021>
6. *Oancea B., Dragoescu R., Ciucu S.* Predicting Students' Results in Higher Education Using Neural Networks // International Conference on Applied Information and Communication Technologies (AICT2013), 25–26 April, 2013, Jelgava, Latvia https://ilufb.llu.lv/conference/AICT/2013/Oancea_AICT2013.pdf (accessed: 25.06.2026)
7. *Leonov A.G., Matyushin M.A., Dyachenko M.S.* A neural network-based approach to a priori assessment of the student academic performance in the Mirera digital learning platform // Uspekhi kibernetiki. 2021. Vol. 2, No. 4. P. 49–59. <https://doi.org/10.51790/2712-9942-2021-2-4-5>
8. *Mashchenko K.A.* Signature Methods for Time Series Analysis. Russian Digital Libraries Journal. 2025. Vol. 28, No. 3. P. 681-700. (In Russ.). <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2025-28-3-681-700>

9. *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 Russ.). EDN: BMEVBI. <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-4-14-26>

10. *Karmanova E.V., Zakharova Ya.M., Kiselev A.V.* Educational data mining in a university using LMS Moodle // Informatics and Education. 2024. Vol. 39, No. 3. P. 16–28. (In Russ.) <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-3-16-28>

11. *Leonov A.G., Mashchenko K.A., Tarasova E.Yu.* Novaya arkhitektura obrazovatel'nykh platform v epokhu tsifrovoy transformatsii: paradigmy nolms i smart lms // Trudy NIISI. 2025. T. 15, № 2. S. 54–59. (In Russ.)/ <https://doi.org/10.25682/NISI.2025.2.0007>

12. *Dahal, P., Nugroho, S., Schmidt, C., Sänger, V.* AI-Based Learning Recommendations: Use in Higher Education // Future Internet. 2025. Vol. 17, No. 7. <https://doi.org/10.3390/fi17070285>

13. *Vasil'ev I.A., Karavaeva A.S., Leonov A.G. et al.* O novovvedeniyakh v tsifrovoy obrazovatel'noi platforme Mirera // Trudy NIISI RAN. 2023. T. 13, № 4. S. 127–134. (In Russ.). <https://doi.org/10.25682/NISI.2023.4.0018>

14. *Vainshtein Yulia V.* Pedagogical Design of Personalized Adaptive Subject Learning for University Students in the Context of Digitalization. Doctoral dissertation, Siberian Federal University, 2021 (In Russ.).

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

16. *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

17. AdaptKT: A Domain Adaptable Method for Knowledge Tracing / S. Cheng, Q. Liu, E. Chen et al. // Proceedings of the Fifteenth ACM International Conference on Web Search and Data Mining: WSDM '22. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022. AdaptKT. P. 123–131.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

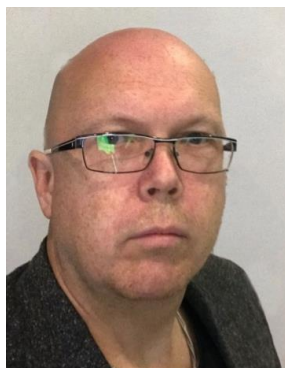


ДЬЯЧЕНКО Михаил Сергеевич – закончил магистратуру в Московском государственном техническом университете «СТАНКИН» в 2006 г., в 2023 окончил аспирантуру по направлению 09.06.01 Информатика и вычислительная техника в НИИСИ РАН. В настоящее время инженер ОПИБ НИИСИ РАН, г. Москва. Область научных интересов: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



ЛЕОНОВ Александр Георгиевич – доктор педагогических наук (кандидат физико-математических наук). В настоящее время работает руководителем цифровой трансформации, заведующим кафедрой дополнительного профессионального образования НИЦ «Курчатовский институт» - НИИСИ, ведущим научным сотрудником механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, профессором кафедры математики и информатики в начальной школе МПГУ.

Alexander Georgievich LEONOV – doctor of Pedagogical Sciences (candidate of Physical and Mathematical Sciences). Currently, he is CDTO (Chief Digital Transformation Officer), head of the Department of Continuing Professional Education at the NRC «Kurchatov Institute» – SRISA, leading researcher at the Laboratory of Computational Methods of the Faculty of Mechanics and Mathematics of Lomonosov Moscow State University, professor at the Department of Mathematics and Informatics in Elementary School of Moscow Pedagogical State University.

email: dr.l@math.msu.su

ORCID: 0000-0001-9622-1526

Материал поступил в редакцию 30 июля 2026 года