

DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-4-14-26

# РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПОИСКА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ

М. С. Дьяченко<sup>1,2</sup> ✉, А. Г. Леонов<sup>1,2,3,4</sup><sup>1</sup> *Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Россия*<sup>2</sup> *Государственный университет управления, г. Москва, Россия*<sup>3</sup> *Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия*<sup>4</sup> *Московский педагогический государственный университет, г. Москва, Россия*✉ [mdyachenko@niisi.ru](mailto:mdyachenko@niisi.ru)

## Аннотация

Автоматизация образовательного процесса и внедрение адаптивного обучения становятся наиболее эффективными способами решения проблемы дефицита высококвалифицированных кадров в условиях цифровизации образования.

В статье предложен подход к формированию индивидуальных образовательных траекторий как композиции педагогических экспериментов, отличающийся хорошей интерпретируемостью в сравнении с методами, основанными на машинном обучении. Этот подход, в отличие от большинства современных параметрических решений, предполагает экспериментальный поиск индивидуальной образовательной траектории для каждого студента группы, а не только части студентов той группы, в которой применение конкретного параметрического решения дает результат. Предлагается автоматизировать процедуру отбора образовательных технологий аналогично тому, как это делают преподаватели в небольших группах, например, применяя автоматизированный метод проб и ошибок и его оптимизированные версии. Рассмотрена возможность переноса образовательных технологий на другие курсы, являющаяся условием повторного использования и масштабирования этих технологий. Описана новая функция учебной системы — формирование индивидуальной образовательной траектории, которая используется на протяжении всего обучения в вузе.

Полученные результаты могут быть использованы при построении современных систем индивидуализации обучения и проведении распределенных педагогических экспериментов, что, в свою очередь, снижает порог входа преподавателей в исследование новых технологий обучения и ускоряет широкое распространение перспективных образовательных технологий.

**Ключевые слова:** основанные на данных образовательные технологии, индивидуальная образовательная траектория, автоматизация обучения, адаптивное обучение, анализ учебных данных, цифровой след обучения, автоматизация педагогических экспериментов.

## Для цитирования:

Дьяченко М. С., Леонов А. Г. Решение задачи автоматизации учебного процесса с помощью экспериментального поиска индивидуальной образовательной траектории. *Информатика и образование*. 2024;39(4):14–26. DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-4-14-26.

# SOLVING THE PROBLEM OF AUTOMATING THE LEARNING PROCESS THROUGH EXPERIMENTAL SEARCH FOR AN INDIVIDUAL EDUCATIONAL TRAJECTORY

M. S. Diachenko<sup>1,2</sup> ✉, A. G. Leonov<sup>1,2,3,4</sup><sup>1</sup> *Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences, National Research Centre "Kurchatov Institute", Moscow, Russia*<sup>2</sup> *State University of Management, Moscow, Russia*<sup>3</sup> *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*<sup>4</sup> *Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russia*✉ [mdyachenko@niisi.ru](mailto:mdyachenko@niisi.ru)

## Abstract

The automation of the educational process and the introduction of adaptive learning are becoming the most effective ways to solve the problem of the shortage of highly qualified personnel under digitalization of education.

The article proposes an approach to the formation of individual educational trajectories as a composition of pedagogical experiments, which is characterized by good interpretability in comparison with methods based on machine learning. This approach, unlike most

modern parametric solutions, involves an experimental search for an individual educational trajectory for each student of the group, and not just a part of the students of the group in which the application of a specific parametric solution is effective. It is proposed that the procedure of selecting educational technologies be automated similarly to how it is done by teachers in small groups, for example, by applying the automated trial and error method and its optimized versions. The possibility of transferring educational technologies to other courses is considered, without which technology reuse and scaling are impossible. A new function of the learning system is described, i. e. the formation of an individual educational trajectory, which is used throughout the study in higher education.

The obtained results can be used in the construction of modern systems of individualization of learning and conducting distributed pedagogical experiments, which, in turn, reduces the threshold of teachers' entry into the study of new learning technologies and accelerates the widespread dissemination of promising educational technologies.

**Keywords:** data-driven educational technologies, individual educational trajectories, learning automation, adaptive learning, analysis of educational data, digital learning footprint, automation of pedagogical experiments.

**For citation:**

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;39(4):14–26. (In Russian.) DOI: 10.32517/0234-0453-2024-39-4-14-26.

## 1. Введение

Сегодня в России эксперты отмечают дефицит высококвалифицированных кадров, в том числе инженерных, что может повлиять на процесс перехода к технологическому суверенитету и на развитие промышленности страны в целом. Наиболее рациональным способом решения этой проблемы является подготовка специалистов в самых востребованных направлениях, например, повышение квалификации инженерных и STEM<sup>1</sup>-кадров на соответствующих краткосрочных курсах переподготовки. Но для формирования профессионалов с потенциалом создания инновационных решений, необходимых современной индустрии, нужно, чтобы будущий специалист прошел полный курс обучения в рамках академической программы вуза. Количество таких выпускников напрямую связано с количеством мест в высших учебных заведениях, а кроме того, ограничено числом преподавателей. Консервативным способом решить проблему недостатка преподавателей можно подготовкой большего количества педагогов, однако полный цикл их подготовки занимает несколько лет, что не позволяет быстро увеличить количество выпускаемых инженеров [1, 2]. Поэтому предпочтительным и более реалистичным подходом может стать повышение производительности преподавателей, уже работающих в вузах<sup>2</sup>.

Как известно, самым простым способом повышения производительности любого процесса является его автоматизация [3]. Применительно к учебному процессу автоматизация означает снижение нагрузки на преподавателя в пересчете на одного студента, что дает возможность одному преподавателю охватить большее количество студентов, не увеличивая затраты времени и труда. Современные системы автоматизации обучения решают часть этих проблем, помогая организовать учебный процесс и частично автоматизировать подготовку отчетных материалов. Однако структура учебного процесса содержит

такие элементы, как контроль знаний и адресная обратная связь, которые все еще плохо поддаются автоматизации.

Сравнительно новым подходом в автоматизации образовательного процесса является индивидуализация обучения, т. е. адаптация учебных материалов под конкретного студента с учетом результатов текущего оценивания. **Целью статьи** является создание модели, описывающей формирование индивидуальной образовательной траектории студента и задающей ход и параметры автоматизации учебного процесса.

## 2. Опыты автоматизации учебного процесса. Обзор литературы

Попытки автоматизации индивидуализации обучения являются неотъемлемым элементом текущего поколения учебных систем, поскольку произвести адаптацию материалов под конкретного студента без автоматизации преподаватель может только при работе в небольших группах. Для автоматизации используются, например, методы искусственного интеллекта и технологии адаптивного обучения.

И. А. Кречетов, М. Ю. Дорофеева и А. В. Дегтярев в статье «Раскрываем потенциал адаптивного обучения: от разработки до внедрения» [4] подробно описывают шаги создания адаптивного курса для вуза, объясняют структуру и объем работ, выполняемых для создания и внедрения курса. Авторы отмечают, что все эти работы выполнялись в коллективе специалистов различной направленности: от методистов и преподавателей-исследователей до разработчиков системы автоматизации обучения, — что позволило им не только создать методологию разработки адаптивного курса, но и реализовать поддерживающую курс автоматизированную систему обучения. К особенностям исследования можно отнести глубокую проработку методологии создания адаптивных курсов и практическую ориентированность проводимого исследования, но авторы не предлагают подходы к масштабированию применения предложенных методологий, чтобы обеспечить широкое применение адаптивного обучения.

В статье И. А. Кречетова и В. В. Романенко «Реализация методов адаптивного обучения» [5]

<sup>1</sup> STEM — аббревиатура от *англ.* Science, Technology, Engineering and Mathematics (наука, технология, инженерия и математика).

<sup>2</sup> Далее в статье будут рассматриваться вопросы на примере вузов, но большинство предлагаемых решений релевантно для среднего общего и среднего специального образования.

детально рассмотрен алгоритм построения траектории изучения модулей адаптивного курса, прохождение по которой максимизирует уровень знаний студента на момент окончания курса. Для построения оптимальной траектории используется аппарат генетических алгоритмов, остаточные знания студентов оцениваются с использованием кривых забывания. Предложенное авторами решение может быть применено при обучении различным дисциплинам, для чего необходимо разрабатывать адаптивные материалы курса, внедрять технические средства его поддержки (средства разработки адаптивных материалов курса и средства реализации алгоритма адаптации) и, что немаловажно, обучать преподавателей использованию данной технологии обучения. Реализуемый алгоритм характеризуется технической сложностью, однако эксперимент проводится на ограниченном количестве студентов, а оценке результатов эксперимента авторы уделяют внимания меньше, чем технической реализации алгоритма и средствам технической поддержки курса.

В статье Ю. В. Вайнштейн, Р. В. Есина, Г. М. Цибульского «Модель образовательного контента: от структурирования понятий к адаптивному обучению» [6] рассмотрено построение адаптивного курса обучения с вариацией сложности проверочных заданий и языка представления учебных материалов. Авторы внедряют адаптивную технологию на младших курсах вуза, где обучается большое количество студентов. При таком подходе возможно в ограниченные сроки собрать необходимый объем данных для оценки эффективности адаптивной технологии. Данное исследование характеризуется глубокой научной проработкой теоретико-методологических особенностей применения адаптивного обучения и организацией комплексного педагогического эксперимента, однако в основе технологии адаптации находятся, по сути, эвристические методы.

Исследования, представленные в статьях Н. В. Комлевой, Д. А. Вилявина «Цифровая платформа для создания персонализированных адаптивных онлайн-курсов» [7] и Т. М. Шамсутдиновой «Формирование индивидуальной образовательной траектории в адаптивных системах управления обучением» [8], объединяет использованный подход к адаптации — изменение порядка изучения учебных материалов. Однако если в первой статье основное внимание уделено технической стороне реализации системы адаптивного обучения, разработки курсов и представления учебных материалов, то во второй больше внимания уделяется методологической проработке адаптивной образовательной среды. В обоих исследованиях объем экспериментальных данных для оценки эффективности предлагаемых решений был ограниченным.

В обзоре К. А. Вилковой, Д. В. Лебедева «Адаптивное обучение в высшем образовании: за и против» [9] описаны современные методы адаптации, существующие решения и проведенные эксперименты. Авторы отмечают, что имеющиеся в науч-

ных источниках результаты исследований не дают однозначного ответа на вопрос об эффективности адаптивного обучения в общем случае, хотя его применение в частных случаях является оправданным. Примечательно, что в России существует всего одна система адаптивного обучения Plario<sup>1</sup>, остальные решения являются зарубежными или не стали универсальными и не имеют широкого применения в вузах. Отметим, что платформа Plario предлагает преподавателям участвовать в создании учебных материалов, что только подтверждает сделанное выше замечание о большой трудоемкости данной работы и необходимости привлечения высококвалифицированных преподавателей для создания адаптивных учебных материалов.

Фактически адаптивные курсы оправданы в качестве выравнивающих курсов, например, на первом году обучения, когда необходимо довести уровень знаний всех студентов до единого, требуемого для продолжения обучения. В этом случае хорошо подготовленный студент быстро проходит адаптивный выравнивающий курс, поскольку для него формируется минимальная по длине траектория обучения. В свою очередь, студент с пробелами в подготовке сможет пройти расширенную версию выравнивающего курса, повторив материал, вызывающий наибольшие сложности. В уже упоминавшемся докладе И. А. Кречетова, М. Ю. Дорофеевой и А. В. Дегтярева [4] есть важно замечание: несмотря на широкие возможности выравнивающих курсов, они не способны заменить репетиторов и имеют ограничения по глубине повторения, поскольку даже если они будут содержать всю школьную программу, повторить ее за ограниченное время курса не представляется возможным без привлечения репетитора. **Таким образом, вариативность современных адаптивных курсов является ограниченной как с точки зрения содержания, так и с точки зрения методов адаптации.**

Несмотря на то, что в описанных выше исследованиях применялись сложные методы адаптации (например, генетические алгоритмы), **передовым подходом к решению задачи построения адаптивной траектории можно считать использование искусственных нейронных сетей (ИНС).** В целях синтеза адаптивной траектории обучения на основе обобщения большого объема экспериментальных данных ИНС в настоящее время применяются в рамках развития модели Байесовского отслеживания знаний (*англ.* Bayesian Knowledge Tracing, BKT) в форме глубокого отслеживания знаний (*англ.* Deep Knowledge Tracing, DKT). Так, в базовом исследовании, представленном в статье С. Piech, J. Bassen, J. Huang и др. «Deep Knowledge Tracing» [10], предложена реализация технологии отслеживания знаний с применением глубокого обучения, особенностью которой является необходимость использовать для разработки решения большие объемы предварительно накопленных экспериментальных данных. Данное

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

направление активно развивается. Так, в обзоре **G. Abdelrahman, Q. Wang, B. Pereira Nunes «Knowledge tracing: A survey»** [11] приводится описание решения на основе DKT, реализующего различные аспекты модели обучаемого, такие как модели забывания и модели обучения студента. Важно отметить, что авторы проводимых в России исследований, например, И. А. Кречетов и В. В. Романенко [5], отмечают, что для использования подобных методов в вузе необходимо накопить большой объем экспериментальных данных, что на практике возможно только в системах массового онлайн-обучения, и именно по этой причине исследователи выбирают методы, не требующие больших объемов предварительно накопленных экспериментальных данных.

Поскольку модель DKT создается на основе данных, накопленных на конкретном учебном курсе, возможности ее применения локальны. Исследователи занимаются проблемой переноса полученного решения на другие курсы, с другими дисциплинами и учебными материалами. В работе **S. Cheng, Q. Liu, E. Chen и др. «AdaptKT: A domain adaptable method for knowledge tracing»** [12] предлагается решение, позволяющее переносить модели, которые обучены на данных одного курса, на другие курсы. Авторы ставят перед собой задачу переноса модели с использованием меньшего объема данных, чем требуется для создания изначальной модели, и в рамках эксперимента им это удастся. Отметим, что даже в таком случае их подход не является универсальным и перенос возможен только между близкими по содержанию дисциплинами, например, такими, как математика и физика. А при незначительном изменении учебной программы в любом случае потребуются адаптация модели, основанной на данных конкретного учебного курса.

В нашей статье «Архитектура учебной системы с индивидуализацией обучения на основе накопленных данных результатов автоматизированной проверки заданий» [13] мы рассматриваем аспект масштабирования технологии адаптивного обучения и предлагаем модель процесса создания и распространения адаптивных технологий, основанных на данных, описываем архитектуру системы, поддерживающей такой процесс, и приводим результаты вычислительных экспериментов. Учитывается опыт создания решений на основе технологии глубокого обучения в области автоматизации проверки заданий, который описан в нашей статье в соавторстве с М. А. Матюшиным «Исследование и разработка методов машинного обучения и архитектур нейронных сетей для применения в области проверки» [14].

Работа Ю. В. Вайнштейн, Р. В. Есина, Г. М. Цибульского [6] является самым масштабным исследованием из всех упомянутых. Она подтверждает эффективность применяемых методов, тогда как в остальных случаях авторы ограничивались технической реализацией и проверкой своих подходов на ограниченных выборках студентов, что снижает до-

стоверность полученных результатов. Важно также отметить, что созданные авторами курсы и технологии не получают широкого развития за пределами выполненного исследования и учебного заведения, в котором проводилось исследование, что не в последнюю очередь связано со сложностью применения созданных методологий разработки адаптивных курсов и трудоемкостью создания адаптивных учебных материалов.

Немаловажным фактором являются также ограниченные возможности переноса разработанных моделей адаптивной технологии. Основанные на данных модели адаптивного обучения требуют большого объема накопленных данных на этапе своего создания, а кроме того, их трудно переносить между курсами и вузами, что ограничивает их применимость массовыми онлайн-курсами. Рассмотренные в нашей статье [13] процессы создания и распространения адаптивных технологий требуют привлечения большого количества не только преподавателей, но и инженеров-разработчиков систем обучения. В результате их совместной деятельности появляется гетерогенная система для организации управляемых и масштабных педагогических экспериментов, не ограниченных адаптивными технологиями, а также среда для широкого распространения полученных результатов.

Однако, несмотря на наличие многообещающих экспериментов в этой области, обозначенные технологии все еще не находят широкого применения в системе образования. Именно поэтому проблема масштабирования подготовки востребованных специалистов (в том числе STEM-кадров) за счет автоматизации учебного процесса остается актуальной областью исследований.

### 3. Поиск образовательной технологии, обеспечивающей индивидуализацию обучения

В данной статье речь идет о педагогических экспериментах двух видов. Во-первых, педагогический эксперимент может быть направлен на проверку гипотезы. Такой эксперимент, как правило, проводится на длительном интервале времени и на большой выборке студентов. Во-вторых, краткосрочный педагогический эксперимент может быть направлен на проверку применимости выбранной образовательной технологии для конкретного студента. В общем случае исследователь проводит педагогические эксперименты обоих видов, проверяя «гипотезу об эффекте» на этапе масштабной проверки и «гипотезу о применимости» при оценке индивидуальной применимости. Ниже изложены результаты исследований в области автоматизации обучения, и рассматриваются только автоматизированные эксперименты. Это означает, что исследователь оперирует формальными критериями проверки гипотезы об эффекте и гипотезы о применимости.



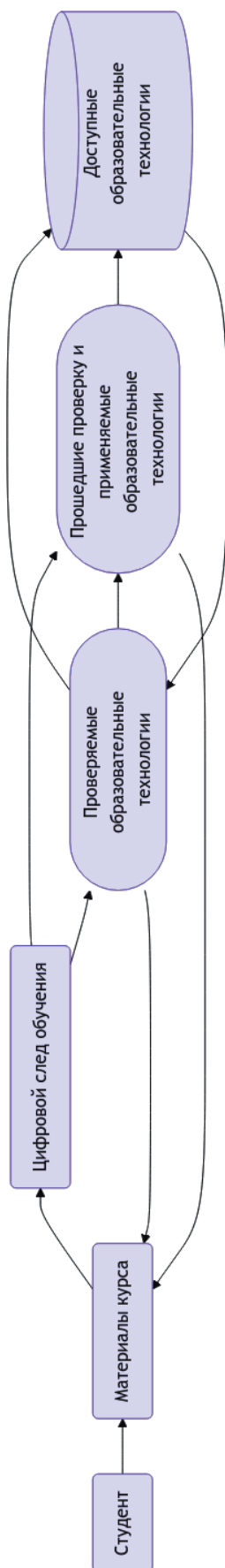


Рис. 1. Формирование индивидуальной образовательной траектории

Fig. 1. The formation of an individual educational trajectory

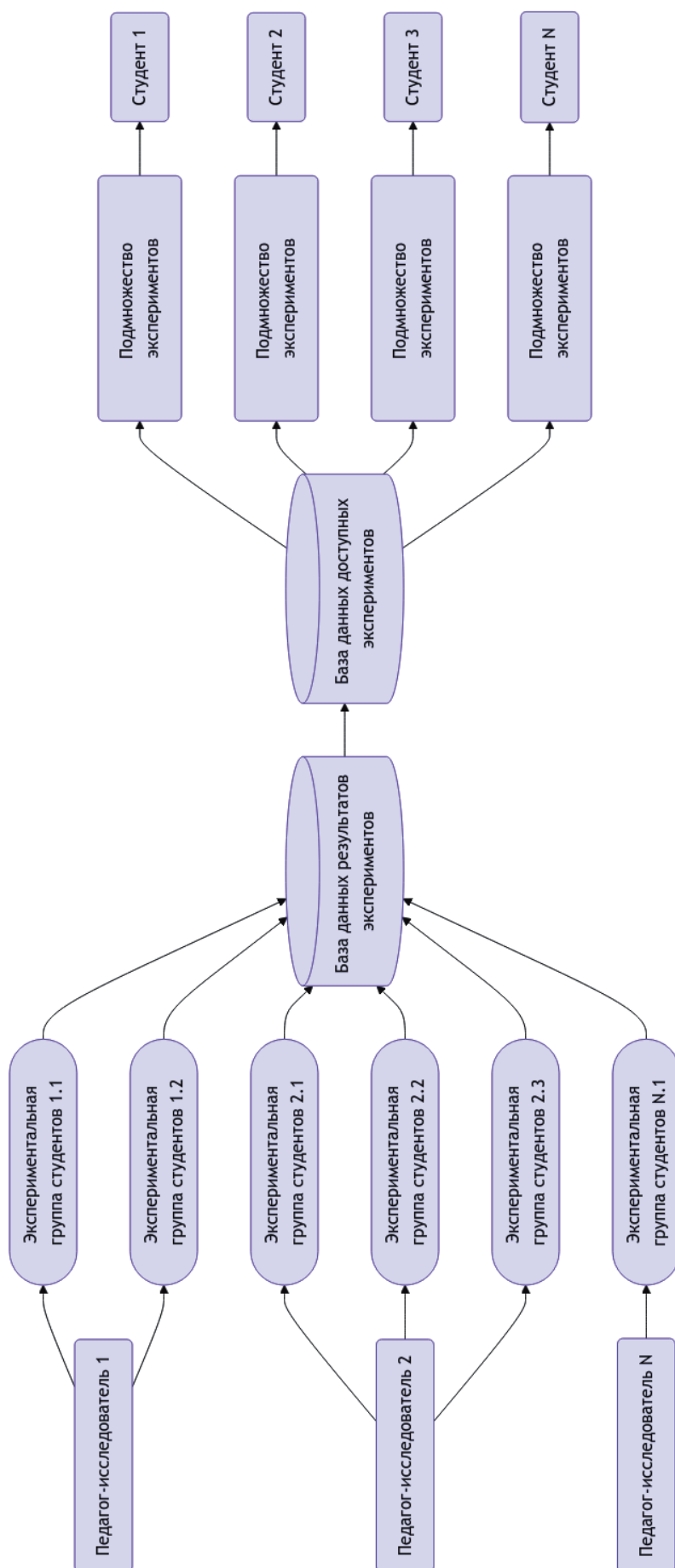


Рис. 2. Этапы проведения педагогических экспериментов и применения их результатов

Fig. 2. The stages of conducting pedagogical experiments and applying their results

### 3.1. Формирование индивидуальной образовательной траектории как результат системы педагогических экспериментов

Традиционно целью индивидуализации обучения является поиск индивидуальной образовательной траектории (ИОТ), применение которой позволит студенту улучшить его учебные результаты относительно ожидаемых. Однако для масштабирования методики образовательного процесса в обозначенных выше условиях целью индивидуализации обучения можно считать сохранение качества обучения на уровне, который обеспечивает преподаватель при обучении в малых группах, т. е. масштабирование методики образовательного процесса не должно приводить к деградации качества обучения в целом [15]. В таком случае **индивидуализация обучения может быть рассмотрена как процесс, реализуемый преподавателем в малых группах и заключающийся в том, что для каждого студента определяется подходящая для него ИОТ.**

Для поиска образовательной технологии, которая приведет к индивидуализации обучения, преподаватель самостоятельно тестирует различные методы, применяемые в преподавании его дисциплины. Фактически он использует свой опыт, а также метод проб и ошибок для отбора одной или нескольких образовательных технологий, применение которых дает нужный результат в обучении конкретного студента. В условиях цифровизации образования подобный подход должен быть автоматизирован с возможностью масштабирования.

Большинство современных образовательных технологий появились в результате сочетания устойчивых традиций, наблюдений и экспериментов. Актуальные исследования в области образования предполагают статистическое подтверждение результатов применения новых технологий на основе экспериментов, в рамках которых отрабатываются выдвинутые гипотезы [16]. Для получения статистически значимых результатов необходима длительная проверка гипотезы на большом количестве студентов. Такой процесс подходит для исследования эффективности образовательной технологии, но его невозможно применить для индивидуализации обучения конкретного студента. Следовательно, процесс поиска и отбора подходящих для студента образовательных траекторий должен быть иным. Например, он может быть реализован с использованием алгоритма проб и ошибок, который выполняется автоматически. Кроме того, он может быть оптимизирован путем выявления подходящих образовательных технологий для конкретного студента до начала обучения.

Процесс формирования ИОТ начинается с применения ранее выявленной композиции образовательных технологий, использованных для обучения студента другой, по возможности близкой, дисциплине, или набора образовательных технологий, традиционно применяемых при изучении исходной дисциплины.

Представим образовательные технологии (ОТ) в форме педагогических экспериментов, которые являются традиционным способом первичного поиска новых технологий. Для получения данных в целях верификации гипотезы в автоматизированных педагогических экспериментах используется цифровой след обучения, являющийся результатом взаимодействия студента с учебным материалом посредством цифровой образовательной платформы (ЦОП). **Множество педагогических экспериментов можно представить как совокупность следующих подмножеств:**

- доступные ОТ (ОТ, которые еще не проверяли);
- проверяемые ОТ;
- прошедшие проверку и применяемые ОТ.

Не прошедшие проверку ОТ возвращаются в категорию «доступные ОТ» с низким приоритетом, однако они могут быть проверены еще раз в будущем. Возможен также отказ от применения отобранных ранее ОТ.

Специальная программа отбирает следующий эксперимент, выполняет проверку, в случае получения положительных результатов продолжает применять отобранную ОТ и переходит к проверке следующей ОТ. (Алгоритм отбора и проверки ОТ, включая оценку их совместимости, не рассматривается в статье для упрощения архитектуры модели.) Схема формирования подмножеств ОТ в процессе поиска ИОТ приведена на рисунке 1. Таким образом, **ИОТ может быть представлена как подмножество педагогических экспериментов.**

К преимуществам интерпретации образовательной технологии как композиции педагогических экспериментов относятся:

- **лучшая интерпретируемость результатов** (в сравнении с технологиями типа «черного ящика» или решениями на основе машинного обучения): поскольку ИОТ является композицией педагогических экспериментов, сложная ИОТ может быть представлена несколькими педагогическими экспериментами, результаты каждого из которых поддаются интерпретации. В противоположность этому современные исследователи стремятся создать сквозную технологию построения ИОТ от цифрового следа обучаемого и до формирования индивидуального образовательного контента. Применяемые для этого технологии глубокого обучения в общем случае не поддаются однозначной интерпретации и могут быть оценены только статистически — валидацией на контрольных выборках;
- **возможность непосредственно связать наблюдаемые результаты с полученными ранее в рамках экспериментов**, что позволяет накапливать данные о практике применения и получаемых результатах: поскольку технологии основаны на педагогическом эксперименте, регистрируются данные о каждом их использовании, что дает возмож-

ность накапливать и обобщать информацию о результативности и условиях применения;

- **управляемость:** преподаватель может анализировать текущее состояние ИОТ и вносить в нее изменения благодаря тому, что ИОТ является композицией педагогических экспериментов, каждый из которых формулируется в понятиях «знать», «уметь», «владеть». Это дает возможность оценивать индикаторы достижения компетенций.

Однако эта же интерпретация требует учитывать возможную интерференцию экспериментов. Подробнее об этом процессе см. п. 3.3. Но даже с учетом интерференции накопление данных по результатам применения экспериментов дает исследователям возможность продолжать искать новые эффективные образовательные технологии.

Формализованное описание автоматизированных экспериментов, в ходе которых студенту предлагается модифицированный в результате педагогического эксперимента учебный процесс с целью проверить связь между специфичными изменениями и регистрируемыми результатами, также дает возможность оценивать нагрузку на студента от применения образовательной технологии как в моменте, так и в случае ее длительного применения. Во втором варианте можно также отбирать технологии, которые в принципе применимы на данном курсе с учетом ограничения по времени его прохождения и доступным часам учебной программы.

### 3.2. Испытание новой образовательной технологии

Процесс испытания новой образовательной технологии состоит из двух этапов.

1. *На первом этапе проверяется эффект от применения технологии в рамках масштабного эксперимента.* В случае подтверждения гипотезы эксперимент становится доступным для использования при формировании ИОТ.
2. *На втором этапе прошедшие первый этап эксперименты применяются непосредственно для формирования ИОТ.*

Результаты проведенных экспериментов накапливаются в базе данных результатов экспериментов и после анализа результатов и отбора переносятся в базу данных доступных экспериментов (рис. 2). Затем для каждого студента формируется подмножество экспериментов, образующее его ИОТ.

На первом этапе, при проверке гипотезы об эффекте, сравниваются средние значения успеваемости (распределение успеваемости) у экспериментальной и контрольной групп, и при получении значимой разницы гипотеза (и реализующая ее технология) считается верифицированной. Влияние на другие аспекты обучения оценивают преимущественно в масштабных педагогических экспериментах (значительно более редких из-за больших трудозатрат и организационных сложностей), которые длятся от нескольких

месяцев до нескольких лет. В рамках масштабных экспериментов разрабатываются и исследуются различные аспекты методологии обучения, тогда как в более частых (краткосрочных и менее масштабных) исследованиях технической реализации параметрического алгоритма индивидуализации обучения анализируется преимущественно один аспект обучения экспериментальной и контрольной групп.

Контрольную группу, небольшую по численности, обучает преподаватель. Для экспериментальной группы, более многочисленной, учебный процесс будет автоматизирован, однако участие в нем преподавателя сохраняется. Подобная методика не применима для проверки гипотезы на втором этапе, когда сравниваются не усредненные результаты, а индивидуальные.

### 3.3. Проблемы связанности образовательных технологий и данных

Современные образовательные технологии основаны на анализе данных, получаемых в результате взаимодействия студента с учебной системой, т. е. на анализе цифрового следа обучения [17, 18]. **Образовательная технология**, разработанная с использованием данных, которые собраны при обучении на одном курсе (курсе-доноре), **чаще всего не может быть использована без изменений для автоматизации обучения на другом курсе (курсе-реципиенте)**. Перенос (или адаптация) технологии предполагает изменение дисциплины, замену студентов (участников эксперимента) в одном учебном заведении и даже смену учебного заведения. Причиной сложности переноса является то, что образовательная технология связана с учебным курсом-донором, структура и содержание которого отображается в цифровом следе обучения. Существующие методы допускают перенос технологии с курса-донора на курс-реципиент путем адаптации с использованием новых данных, накопленных по результатам обучения на курсе-реципиенте [12]. Проблема переноса характерна не только для технологий на основе глубокого обучения, но и для технологий, разработанных на основе анализа данных.

Еще одной проблемой является недостаточный объем данных, который можно накопить при преподавании на старших курсах вузов (или на краткосрочных курсах повышения квалификации), поскольку в силу узкой специализации и малой численности студентов в группах охват на таких курсах незначительный, а следовательно, накопление больших объемов данных для анализа требует длительного периода времени, который будет превышать время устаревания данных.

Подходя к анализу проблем связанности образовательных технологий и данных, на основе которых они разработаны, **важно также отметить еще одну особенность педагогических экспериментов — интерференцию экспериментальных воздействий**. Участники педагогических экспериментов обладают памятью и обучаемостью, и потому дважды повторить один эксперимент в рамках обучения на курсе невозможно: каждый раз в эксперименте будут участвовать

разные студенты. По этой причине в эксперименте участвует большое количество студентов, разделенных на группы (экспериментальную и контрольную), разница в результатах которых используется для верификации гипотезы. Соответственно, на индивидуальном уровне повторить эксперимент невозможно.

Однако если сделать предположение, что образовательная технология отделена от курса и не связана с его структурой и содержанием непосредственно, то эта технология сводится к приему, использование которого может быть перенесено с одной дисциплины на другую без потери эффективности применения [19]. Это и будет ИОТ — специфическая для студента система приемов обучения, которая может применяться на различных дисциплинах, а не только на одном конкретном курсе.

### 3.4. Повторное использование индивидуальной образовательной траектории

Общая схема повторного использования ИОТ приведена на рисунке 3: взаимосвязь учебных курсов, цифрового следа обучения (посредством автоматизированной системы обучения) и ИОТ, которая может одновременно применяться к нескольким курсам

в разных видах (с учетом специфики курса), но при этом формируется для студента. В случае реализации такой схемы результаты обучения на одном курсе также влияют на траекторию обучения на другом курсе.

Представленный подход позволяет по-новому осмыслить роль образовательной технологии в составе учебной системы. Если сейчас принято считать автоматизацию обучения средством снятия нагрузки с преподавателя, то в новом качестве автоматизация становится инструментом по поиску ИОТ конкретного студента, которая, в свою очередь, также снимает часть нагрузки с преподавателя. Если допустить, что образовательная технология отделяема от конкретного курса и может применяться на других курсах, то в процессе обучения студента в вузе на младших курсах выполняется поиск оптимальной для него ИОТ, после чего происходит постепенное обучение студента самостоятельному ее применению. На старших курсах предполагается лишь контроль знаний, поскольку объема данных для исследования учебных технологий уже недостаточно. Такой подход решает проблему недостаточного объема данных в этот период обучения из-за специализации студентов и обучения в малых группах.

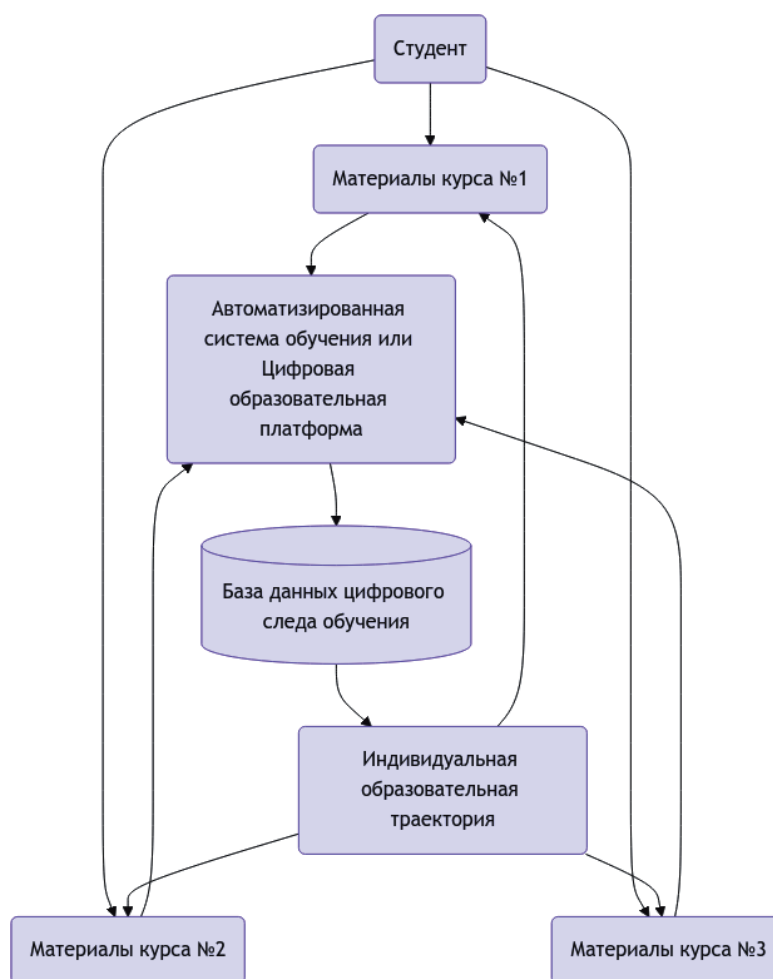


Рис. 3. Повторное использование индивидуальной образовательной траектории при обучении на нескольких курсах

Fig. 3. Repeated use of an individualized educational trajectory when studying in several courses



### 3.5. Автоматизация экспериментов и использование интеграционной платформы

Для организации описанной схемы формирования ИОТ необходимо начать с автоматизации экспериментов, в том числе экспериментов по исследованию технологий на основе данных. В предыдущем исследовании авторов «Архитектура учебной системы с индивидуализацией обучения на основе накопленных данных результатов автоматизированной проверки заданий» [13] в процессе моделирования было установлено, что при разработке современных образовательных технологий на основе данных ключевую роль играет возможность быстро собирать данные для разработки решения и последующей проверки его эффективности. Но в таком случае после разработки возникает проблема масштабирования с учетом трудностей переноса, уже рассмотренная в п. 3.3.

Для решения проблемы времени накопления данных на этапе разработки необходимо одновременное участие в эксперименте нескольких учебных заведений, как это предусмотрено на этапе проверки эффективности технологии. Распределение сбора данных и проведение экспериментов сразу в нескольких учебных заведениях может повысить надежность результатов за счет большего охвата студентов и преподавателей, что, например, снижает зависимость полученного результата от особенностей учебного заведения, курса и индивидуального стиля преподавания.

Для реализации такого подхода необходимо использовать интеграционную платформу (или функцию интеграционной платформы в составе ЦОП), к задачам которой относится координация экспериментов на этапе накопления данных и проверка их эффективности. Схема проведения эксперимента в автоматизированных системах обучения (АСО) с участием интеграционной платформы приведена на рисунке 4.

Функции интеграционной платформы начнутся с координации проводимых экспериментов, но этим не ограничиваются. Интеграционная платформа отвечает за поддержку преподавателей в процессе проведения эксперимента и при внедрении новых образовательных технологий, поскольку автоматически обеспечивает контроль результатов и обнаруживает аномалии в поведении учебных групп и отдельных студентов. Педагогам надо дать возможность сосредоточиться на педагогической поддержке, убрав из работы рутинные проверки, выполняемые учебной системой [20].

Кроме того, интеграционная платформа является единой точкой входа исследователей для ознакомления с текущими результатами педагогических экспериментов по выбранным технологиям, их повторного использования и развития. Наличие формального описания эксперимента позволяет проводить независимые проверки, в том

числе с использованием предложенной гетерогенной системы, а среда распространения новых технологий ускоряет их появление в учебных заведениях.

## 4. Обсуждение

Предложенная авторами интерпретация ИОТ как композиции отдельных образовательных технологий является развитием идеи адаптивного обучения: исследователи стремятся найти универсальную модель обучения, применение которой предполагает поиск оптимальных параметров этой модели для конкретного студента. В проанализированных исследованиях констатируется, что применение параметрических моделей позволяет улучшить результаты только части студентов, а не всех участников эксперимента. Следует изначально ставить цель охватить всех студентов, но при этом допускать применение композиции из нескольких образовательных технологий. *Такой подход позволяет охватывать различными образовательными технологиями всех студентов, а не фокусироваться лишь на подгруппе студентов, которым дает преимущество применение конкретной образовательной технологии.*

Наш подход близок к идее разработчиков системы обучения GermanTutor [21], которые используют сразу несколько различных образовательных технологий для достижения максимального охвата аудитории и повышения результативности обучения.

Наше предложение не противоречит современным подходам к адаптивному обучению, основанным на данных, таким как Deep Knowledge Tracing [10] и его разновидности, и может быть использовано как отдельная образовательная технология. Однако при этом важно учитывать ограниченные возможности переноса таких решений [12], что осложняет применение полученной образовательной технологии при обучении новым дисциплинам.

*Описанный подход возвращает нас к первоначальному пониманию модели обучения как универсальному решению*, которое со временем оказалось зависимым от модели предметной области (структуры и содержания учебного курса).

Поскольку исследования сложно отнести к рутинной работе, авторы предлагают переложить часть функций по контролю над проведением эксперимента также на цифровую образовательную платформу, дав возможность организаторам эксперимента получить доступ к данным. Это позволяет проводить распределенные масштабные эксперименты, которые находятся под контролем цифровой образовательной платформы, а не только преподавателей-участников эксперимента.

Полученные результаты частично реализованы в разрабатываемой авторами цифровой образовательной платформе «Мирера»<sup>1</sup>, которая используется

<sup>1</sup> Цифровая образовательная платформа «Мирера». <https://www.mirera.ru>

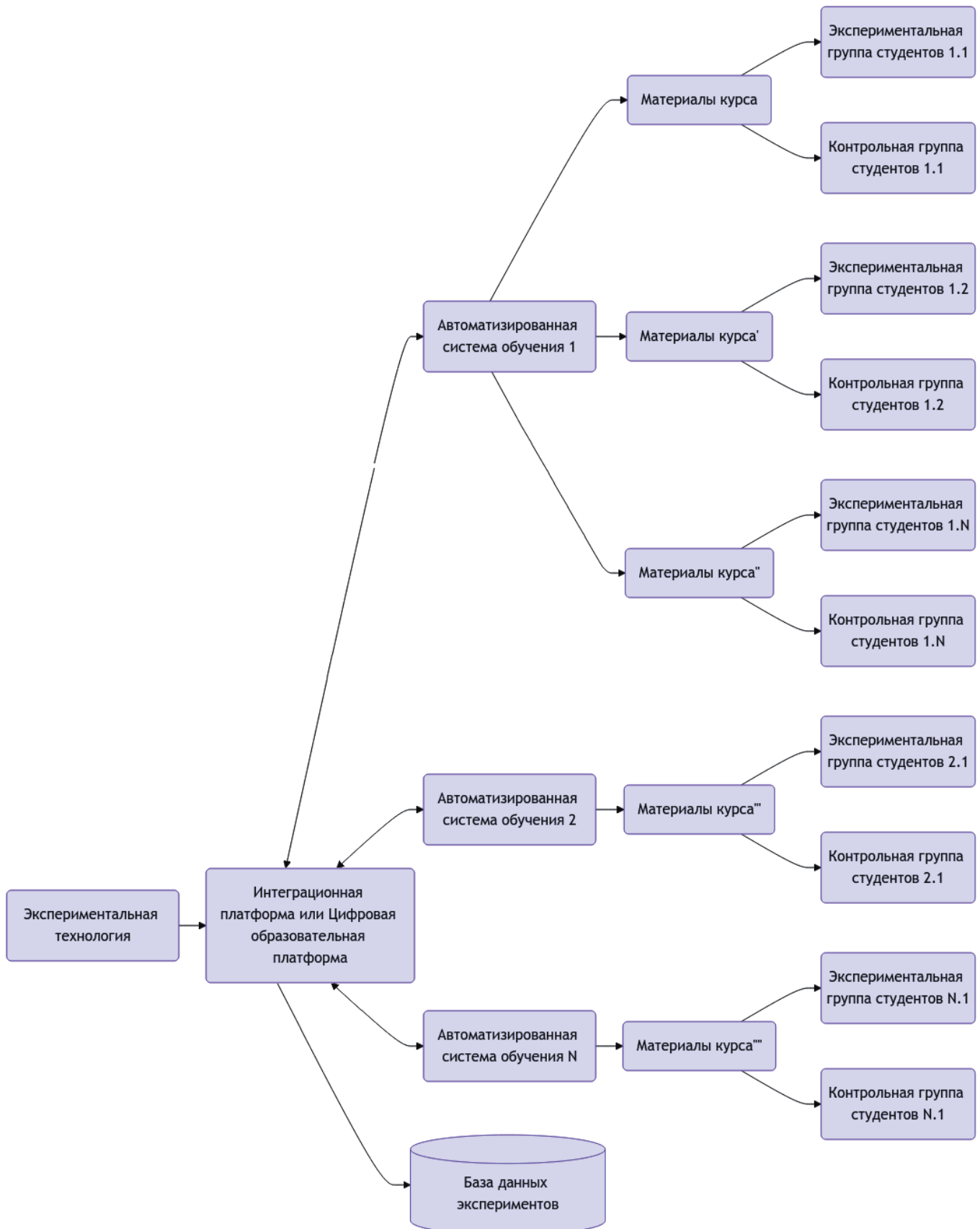


Рис. 4. Схема проведения экспериментов в гетерогенной среде из нескольких независимых учебных систем с использованием интеграционной платформы

Fig. 4. A scheme for conducting experiments in a heterogeneous environment of several independent educational systems using an integration platform

в Московском государственном университете имени М. В. Ломоносова, Государственном университете управления, Московском педагогическом государственном университете, Институте образовательных технологий, Российском экономическом университете имени Г. В. Плеханова, Финансовом университете при правительстве Российской Федерации, Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» и Федеральном научном центре Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук. Например, функция «адаптивные траектории» использует только результаты студента и не связана со спецификой преподаваемой дисциплины. Как было указано выше, автоматизация проверки знаний является препятствием для широкого внедрения методов индивидуализации обучения. В цифровой образовательной платформе «Мирера» реализованы различные методы проверки выполнения вычислительных, графических и табличных заданий в ходе решения инженерных задач, а также возможности проверки полнотекстовых ответов на открытые вопросы.

Автоматизация проверки знаний — источник обратной связи, поэтому она очень важна и является ядром современной технологии автоматизации обучения. Способы автоматической проверки расширяют возможности применения наработок в области обучения, традиционно считавшихся плохо поддающихся автоматизации. Кроме того, система проверки заданий должна дополняться анализом заимствований, чтобы пользователи могли сохранять уверенность в качестве получаемых данных.

## 5. Заключение

Решение проблемы дефицита инженерных и STEM-кадров в России можно найти в автоматизации работы преподавателей, повышающей ее производительность, а следовательно, и количество подготовленных выпускников. В качестве меры успеха автоматизации предлагается использовать сохранение качества обучения при масштабировании его технологий.

Авторы предложили оригинальный подход формирования ИОТ студента как композиции педагогических экспериментов по отбору тех образовательных технологий, которые оказывают положительный эффект на результаты обучения конкретного студента. Данный подход обладает лучшей интерпретируемостью в сравнении с подходами на основе машинного обучения за счет того, что в его основе находятся интерпретируемые педагогические эксперименты, а не просто набор данных, как в случае с машинным обучением. Автоматизация отбора образовательных технологий для каждого студента осуществляется аналогично тому, как это делают преподаватели в небольших группах, например, применяя метод проб и ошибок и его оптимизированные версии.

Современные образовательные технологии, основанные на анализе данных, в значительной

мере связаны с содержанием и структурой курса, что затрудняет их перенос с курса-донора на курс-реципиент без доработки технологии. Авторы предлагают ориентироваться на те технологии, перенос которых возможен, и методы, применимые при обучении различным дисциплинам. В связи с этим меняется роль образовательной технологии в учебной системе: от поддержки преподавателя — до формирования ИОТ студента. Таким образом, появляется возможность в ходе обучения студента на младших курсах выявить его ИОТ, после чего обучить студента ее использованию, чтобы на старших курсах он мог учиться самостоятельно, а учебная система отвечала бы за контроль его знаний.

Предложенная авторами архитектура учебной системы предполагает создание интеграционной платформы для координации проведения экспериментов и накопления данных для разработки и оценки эффективности новых технологий, а также распространения этих технологий. Для реализации описанного подхода и предложенной архитектуры выбрана ЦОП «Мирера», которая активно разрабатывается и подходит для проведения экспериментов в области автоматизации обучения.

Запланированы и выполняются исследования в части координации распределенных экспериментов и ускоренного внедрения новых технологий индивидуализации с использованием описанного подхода. Отдельно планируется исследовать результаты применения описанного подхода при обучении студентов в группе.

### Финансирование

Работа выполнена в рамках темы государственного задания Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук» по теме № FNEF-2024-0001 (1023032100070-3-1.2.1) и фундаментального исследования по теме № ЦИТИС: 121060200160-3 «Разработка теории и программного обеспечения для задач вычислительной математики и ее приложений».

### Funding

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal State Institution “Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences” on topic No FNEF-2024-0001 (1023032100070-3-1.2.1) and fundamental research on topic No CITIS: 121060200160-3 “Development of theory and software for problems of computational mathematics and its applications”.

### Список источников / References

1. Бетелин В. Б. Проблемы и перспективы формирования цифровой экономики в России. *Вестник российской академии наук*. 2018;88(1):3–9. EDN: YKHLDM. DOI: 10.7868/S0869587318010012.
- [Betelin V. B. Problems and prospects in forming a digital economy in Russia. *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk*. 2018;88(1):3–9. (In Russian.) EDN: YKHLDM. DOI: 10.7868/S0869587318010012.]
2. Бетелин В. Б. О новой технологической революции и готовности к ней экономики России. *Экономист*. 2018;(2):3–9.
- [Betelin V. B. On the new technological revolution and the readiness of the Russian economy for it. *Ekonomist*. 2018;(2):3–9. (In Russian.)]



3. Гимранов Р. Д., Холкин И. Н. Изобретая информационные системы будущего. Теория и практика. Сургут: ООО «Аэроплан СОФТ»; 2017. 197 с. EDN: YWRSQT.

[Gimranov R. D., Kholkin I. N. Inventing the information systems of the future. Theory and practice. Surgut, Aeroplan SOFT LLC; 2017. 197 p. (In Russian.) EDN: YWRSQT.]

4. Кречетов И. А., Дорофеева М. Ю., Дегтярев А. В. Раскрываем потенциал адаптивного обучения: от разработки до внедрения. Материалы международной конференции *Elearning Stakeholders and Researchers Summit 2018*. М.: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»; 2018:76–88. EDN: YXPFPF.

[Krechetov I. A., Dorofeeva M. Yu., Degtyarev A. V. Revealing the potential of adaptive learning: from development to implementation. *Proc. Int. Conf. Elearning Stakeholders and Researchers Summit 2018*. Moscow, National Research University Higher School of Economics; 2018:76–88. (In Russian.) EDN: YXPFPF.]

5. Кречетов И. А., Романенко В. В. Реализация методов адаптивного обучения. *Вопросы образования*. 2020;(2):252–277. EDN: KYNIIH. DOI: 10.17323/1814-9545-2020-2-252-277.

[Krechetov I. A., Romanenko V. V. Implementing the adaptive learning techniques. *Educational Studies*. Moscow. 2020;(2):252–277. (In Russian.) EDN: KYNIIH. DOI: 10.17323/1814-9545-2020-2-252-277.]

6. Вайнштейн Ю. В., Есин Р. В., Цибульский Г. М. Модель образовательного контента: от структурирования понятий к адаптивному обучению. *Открытое образование*. 2021;25(1):28–39. EDN: CODQHI. DOI: 10.21686/1818-4243-2021-1-4-28-39.

[Vainshtein J. V., Esin R. V., Tsibulsky G. M. Learning content model: From concept structuring to adaptive learning. *Open Education*. 2021;25(1):28–39. (In Russian.) EDN: CODQHI. DOI: 10.21686/1818-4243-2021-1-4-28-39.]

7. Комлева Н. В., Вилявин Д. А. Цифровая платформа для создания персонализированных адаптивных онлайн курсов. *Открытое образование*. 2020;24(2):65–72. EDN: CWBDOO. DOI: 10.21686/1818-4243-2020-2-65-72.

[Komleva N. V., Vilyavin D. A. Digital platform for creating personalized adaptive online courses. *Open Education*. 2020;24(2):65–72. (In Russian.) EDN: CWBDOO. DOI: 10.21686/1818-4243-2020-2-65-72.]

8. Шамсутдинова Т. М. Формирование индивидуальной образовательной траектории в адаптивных системах управления обучением. *Открытое образование*. 2021;25(6):36–44. EDN: YPLVRY. DOI: 10.21686/1818-4243-2021-6-36-44.

[Shamsutdinova T. M. Formation of individual educational trajectory in adaptive learning management system. *Open Education*. 2021;25(6):36–44. (In Russian.) EDN: YPLVRY. DOI: 10.21686/1818-4243-2021-6-36-44.]

9. Вилкова К. А., Лебедев Д. В. Адаптивное обучение в высшем образовании: за и против. М.: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»; 2020. 36 с. EDN: PYRWTW.

[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.]

10. Piech C., Bassen J., Huang J., Ganguli S., Sahami M., Guibas L., Sohl-Dickstein J. Deep knowledge tracing. *Proc. 28th Int. Conf. Neural Information Processing Systems (NIPS 2015)*. Cambridge, MA, USA, MIT Press; 2015;1:505–513. Available at: <https://papers.nips.cc/paper/2015/file/bac9162b47c56fc8a4d2a519803d51b3-Paper.pdf>

11. Abdelrahman G., Wang Q., Pereira Nunes B. Knowledge tracing: A survey. *ACM Computing Surveys*. 2022;55(11):1–37. DOI: 10.1145/3569576.

12. Cheng S., Liu Q., Chen E., Zhang K., Huang Z., Yin Y., Huang X., Su Y. AdaptKT: A domain adaptable method for

knowledge tracing. *Proc. 15th ACM Int. Conf. on Web Search and Data Mining (WSDM'22)*. New York, NY, USA, Association for Computing Machinery; 2022:123–131. DOI: 10.1145/3488560.349837.

13. Дьяченко М. С., Леонов А. Г. Архитектура учебной системы с индивидуализацией обучения на основе накопленных данных результатов автоматизированной проверки заданий. *Успехи кибернетики*. 2023;4(1):39–48. EDN: CHDAIZ. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-1-06.

[Dyachenko M. S., Leonov A. G. Adaptive learning system architecture with academic performance tracking. *Russian Journal of Cybernetics*. 2023;4(1):39–48. (In Russian.) EDN: CHDAIZ. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-1-06.]

14. Дьяченко М. С., Леонов А. Г., Матюшин М. А. Исследование и разработка методов машинного обучения и архитектур нейронных сетей для применения в области проверки. *Труды Научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук*. 2021;11(3):48–53. EDN: QIETZ. DOI: 10.25682/NIISI.2021.3.0010.

[Dyachenko M. S., Leonov A. G., Matushin M. A. Research and development of machine learning methods and neural network architectures for usage in the field of verification. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Sistemnykh Issledovaniy Rossiyskoy Akademii Nauk*. 2021;11(3):48–53. (In Russian.) EDN: QIETZ. DOI: 10.25682/NIISI.2021.3.0010.]

15. Bensalah F., Daniel M. P., Patra I., Garcia D. S., Irigasheva Sh., Tsarev R. Implementation of individual learning trajectories in LMS Moodle. *Data Analytics in System Engineering. Proc. of the Computational Methods in Systems and Software Conf. (CoMeSySo 2023)*. Cham, Springer Nature Switzerland; 2024;935:159–174. DOI: 10.1007/978-3-031-54820-8\_14.

16. Яковлев Е. В., Яковлева Н. О. Педагогический эксперимент в диссертационных исследованиях. *Современная высшая школа: инновационный аспект*. 2011;(1):52–63. EDN: NELCFT.

[Yakovlev E. V., Yakovleva N. O. Pedagogical experiment in dissertation research. *Sovremennaya Vysshaya Shkola: Innovatsionnyy Aspekt*. 2011;(1):52–63. (In Russian.) EDN: NELCFT.]

17. Pisareva O. M., Leonov A. G., Dyachenko M. S. Adaptive digital educational environments as drivers of remote staff training technologies. *Proc. Int. Sci. Conf. "Smart Nations: Global Trends in The Digital Economy". Lecture Notes in Networks and Systems*. Zug, Switzerland, Springer Nature Switzerland; 2022;398:360–366. EDN: AQVXHW. DOI: 10.1007/978-3-030-94870-2\_46.

18. Чуркина Н. А. «Цифровой след» в аспекте электронного обучения. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2022;(11(125)):47. EDN: MYAJPC. DOI: 10.23670/IRJ.2022.125.35.

[Churkina N. A. "Digital footprint" in the aspect of electronic learning. *International Research Journal*. 2022;(11(125)):47. (In Russian.) EDN: MYAJPC. DOI: 10.23670/IRJ.2022.125.35.]

19. Meng J., Liu X., Sridhar V. Algorithm design of online education platform based on simulation experiment. *Proc. 4th Int. Conf. on Big Data Analytics for Cyber-Physical System in Smart City*. Singapore, Springer Nature Singapore; 2023;168:118–127. DOI: 10.1007/978-981-99-1157-8\_15.

20. Горбатов С. В., Краснова Е. А. Цифровой след как механизм индивидуализации образовательной траектории студента (на примере курса «Цифровые технологии самообразования»). *Перспективы науки и образования*. 2022;(4(58)):193–208. EDN: SPPWXY. DOI: 10.32744/pse.2022.4.12.

[Gorbatov S. V., Krasnova E. A. A digital footprint as a mechanism of individualizing a student's educational trajectory (on the case of the "Digital technologies of self-education" course). *Perspectives of Science and Education*.



2022;(4(58)):193–208. (In Russian.) EDN: SPPWXY. DOI: 10.32744/pse.2022.4.12.]

21. Heift T. Web delivery of adaptive and interactive language tutoring: Revisited. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2016;26(1):489–503. DOI: 10.1007/s40593-015-0061-0.

#### Информация об авторах

**Дьяченко Михаил Сергеевич**, инженер отдела проблем информационной безопасности, Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Россия; преподаватель магистерской программы «Цифровые технологии в государственном и корпоративном управлении», кафедра математических методов в экономике и управлении, Институт информационных систем, Государственный университет управления, г. Москва, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-5809-4981>; *e-mail*: [mdyachenko@niisi.ru](mailto:mdyachenko@niisi.ru)

**Леонов Александр Георгиевич**, канд. физ.-мат. наук, доцент, зав. кафедрой дополнительного профессионального образования, Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Россия; руководитель магистерской программы «Цифровые технологии в государственном и корпоративном управлении», доцент кафедры математических методов в экономике и управлении, Институт информационных систем, Государственный университет управления, г. Москва, Россия; ведущий научный сотрудник лаборатории вычислительных методов, кафедра теоретической информатики, механико-математический факультет, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия; профессор кафедры математики и информатики в начальной школе, факультет начального образования,

Институт детства, Московский педагогический государственный университет, г. Москва, Россия; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-9622-1526>; *e-mail*: [dr.l@vip.niisi.ru](mailto:dr.l@vip.niisi.ru)

#### Information about the authors

**Mikhail S. Diachenko**, Engineer at the Information Security Department, Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences, National Research Centre “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia; Master’s Program Instructor of the “Digital Technologies in Public and Corporate Governance”, The Department of Mathematical Methods in Economics and Management, Institute of Information Systems, State University of Management, Moscow, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0002-5809-4981>; *e-mail*: [mdyachenko@niisi.ru](mailto:mdyachenko@niisi.ru)

**Alexander G. Leonov**, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Docent, Head of the Department of Continuing Professional Education, Scientific Research Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences, National Research Centre “Kurchatov Institute”, Moscow, Russia; Master’s Program Supervisor of the “Digital Technologies in Public and Corporate Governance”, Associate Professor at the Department of Mathematical Methods in Economics and Management, Institute of Information Systems, State University of Management, Moscow, Russia; Leading Researcher at the Laboratory of Computational Methods, The Department of Theoretical Informatics, Faculty of Mechanics and Mathematics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; Professor at the Department of Mathematics and Informatics in Elementary School, Faculty of Elementary Education, Institute of Childhood, Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russia; *ORCID*: <https://orcid.org/0000-0001-9622-1526>; *e-mail*: [dr.l@vip.niisi.ru](mailto:dr.l@vip.niisi.ru)

*Поступила в редакцию / Received*: 21.07.24.

*Поступила после рецензирования / Revised*: 12.08.24.

*Принята к печати / Accepted*: 13.08.24.