

УДК 37.04

## **Внедрение адаптивного обучения в университете: кейс УрФУ реализации дисциплины «Иностранный язык»**

Виола А. Ларионова<sup>1</sup>, Наталья В. Гончарова<sup>2</sup>, Людмила В. Дайнеко<sup>3</sup>,  
Федор Д. Ковалев<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
Екатеринбург, Россия

E-mail: [v.a.larionova@urfu.ru](mailto:v.a.larionova@urfu.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2132-5176>

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
Екатеринбург, Россия

E-mail: [n.v.goncharova@urfu.ru](mailto:n.v.goncharova@urfu.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8133-8289>

<sup>3</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
Екатеринбург, Россия

E-mail: [l.v.daineko@urfu.ru](mailto:l.v.daineko@urfu.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0062-2611>

(Автор, отвечающий за корреспонденцию)

<sup>4</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
Екатеринбург, Россия

E-mail: [f.d.kovalev@urfu.ru](mailto:f.d.kovalev@urfu.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8441-8665>

DOI: 10.26907/esd.19.1.09

EDN: PRKFAL

Дата поступления: 30 января 2023; Дата принятия в печать: 9 августа 2023

### **Аннотация**

Цифровизация образовательной среды и индивидуализация обучения являются основными мировыми трендами трансформации образования. Формирование индивидуальной траектории обучения для каждого студента и повышение эффективности его учебной деятельности с учетом входного уровня знаний и навыков, индивидуальных особенностей восприятия информации и скорости освоения новых знаний становится возможным благодаря цифровым технологиям. Инструменты учебной аналитики, используемые для анализа данных цифрового следа обучающегося на последующих этапах освоения курса, но и выстраивать наиболее оптимальный путь достижения обучающимся целевых результатов обучения, реализуя принципы адаптивного обучения. Целью данной работы является разработка и практическая апробация методики адаптивного обучения при реализации учебной дисциплины в университете. Разработанная методика адаптивного обучения основана на использовании инструментов анализа данных для формирования уникальной для каждого студента индивидуальной учебной траектории в рамках изучения курса «Иностранный язык». На выборке в 5 154 студента проведен сравнительный анализ различных моделей обучения. Сделан вывод о преимуществе адаптивного обучения, реализуемого в смешанной модели, которая предполагает активную роль преподавателя в части мониторинга успешности студента и принятия решений на основе рекомендаций системы. Успешный опыт апробации методики адаптивного обучения

на примере реализации дисциплины «Иностранный язык» свидетельствует о практической значимости результатов исследования и возможности их использования для внедрения адаптивного обучения в вузах.

**Ключевые слова:** адаптация, адаптивное обучение, индивидуальные учебные траектории, цифровизация образовательного процесса, смешанное обучение, высшее образование.

## Introduction of Adaptive Learning at the University: UrFU Case of Implementing “Foreign Language” Discipline

Viola Larionova<sup>1</sup>, Natalia Goncharova<sup>2</sup>, Liudmila Daineko<sup>3</sup>, Fjodor Kovalev<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

E-mail: v.a.larionova@urfu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2132-5176>

<sup>2</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

E-mail: n.v.goncharova@urfu.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8133-8289>

<sup>3</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

E-mail: l.v.daineko@urfu.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0062-2611>

(Corresponding author)

<sup>4</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

E-mail: f.d.kovalev@urfu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8441-8665>

DOI: 10.26907/esd.19.1.09

EDN: PRKFAL

Submitted: 30 January 2023; Accepted: 9 August 2023

### Abstract

Digitalization of learning environment and learning individualization are among the key global trends of education transformation. Digital tools allow designing individual learning path for each student, and improving learning efficiency by considering entrance levels of skills and knowledge, personal specifics of information perception, and speed of acquiring new knowledge. Learning analytics tools are used to analyze student digital footprint data in order to not only forecast student success of failure at the following stages of the course, but to design the most optimal path to desired learning results through the use of adaptive learning tools. The current research was aimed at developing and testing an adaptive learning method for teaching of a University foreign language course. The adaptive learning method uses analysis tools to form unique individual learning trajectory for each student. Comparative analysis of different learning models was performed using data for 5,154 students. Conclusions were made on the advantages of adaptive learning and mixed learning model with active teacher's role in student success monitoring. Successful experience of testing the adaptive learning method for teaching foreign language demonstrates practical value of research results, and allows their further use for implementing adaptive learning in higher education institutions.

**Keywords:** adaptation, adaptive learning, individual educational trajectories, digitalization of the educational process, blended learning, higher education.

## Введение

Переход от традиционной модели массового обучения, предполагающей единый учебный план для всех обучающихся по образовательной программе и ориентированной на «среднего» студента, способного освоить этот план, к индивидуализированному обучению с активным участием обучающихся в формировании своей траектории в рамках выбранной образовательной программы становится приоритетом в развитии высшего образования (Daineko et al., 2021). Благодаря широкому внедрению цифровых технологий возникают технологические предпосылки для управления обучением десятков тысяч студентов, каждый из которых следует индивидуальному учебному плану, включающему помимо обязательных дисциплин широкий спектр вариативных модулей под разные профессиональные задачи (Pesha, 2022). Индивидуализация образовательной траектории позволяет каждому студенту получить уникальный набор компетенций, а также повысить конкурентоспособность на рынке труда.

Для адаптации учебного процесса под потребности и способности каждого обучающегося необходимы цифровые решения, позволяющие в автоматическом или полуавтоматическом режиме выстраивать индивидуальные траектории на основе анализа цифрового следа и обеспечивать достижение целевых результатов обучения. Здесь и далее термин «адаптация» (от лат. *adapto* — приспособливать) трактуется авторами как подстраивание процесса обучения под индивидуальные особенности обучающегося, включая уровень входных знаний, способности к обучению, скорости освоения материала и другие индивидуальные характеристики студента. В данном исследовании авторы сконцентрировали внимание на адаптации учебного процесса в рамках реализации отдельных дисциплин образовательной программы.

Объектом исследования является процесс адаптации учебного процесса под индивидуальные способности и запросы студентов при реализации академической дисциплины в университете.

Целью исследования является разработка и практическая апробация оригинальной методики смешанного адаптивного обучения, отличающейся использованием инструментов интеллектуального анализа данных для формирования рекомендаций по выстраиванию индивидуальной учебной траектории студента и активной ролью преподавателя в части мониторинга успешности обучающихся и принятия решений на основе рекомендаций системы.

Поставленная цель исследования определила следующую структуру работы. Обзор различных подходов к реализации адаптивного обучения и практик внедрения адаптивных технологий в образовательный процесс обеспечивает теоретическую базу для дальнейшего исследования, дает оценку актуальности и проработанности проблемы. Для обобщения положительных и отрицательных сторон существующих моделей адаптивного обучения приводится их сравнительный анализ. В следующем разделе описывается разработанная авторами оригинальная методика реализации смешанного адаптивного обучения и процессная схема выстраивания индивидуальных учебных траекторий на основе интеллектуального анализа данных цифрового следа обучающихся с активным участием преподавателя. Далее приводятся результаты практической апробации разработанной методики на выборке в 5154 студента первого курса университета, изучающих курс «Иностранный язык». На основе сравнения различных моделей реализации дисциплины с точки зрения достижения студентами результатов обучения сделан вывод о преимуществе смешанной модели адаптивного обучения с участием преподавателя над традиционной и смешанной неадаптивной моделями. В заключении подчеркивается

практическая значимость результатов исследования, что говорит о возможности распространения предложенной методики в образовательной деятельности вузов для достижения студентами более высоких образовательных результатов и обеспечения их индивидуально-дифференцированного развития.

## Обзор литературы

В Российской Федерации на законодательном уровне закреплены свобода выбора образования согласно склонностям и потребностям, в Федеральном законе «Об образовании в РФ» подчеркивается необходимость создания условий для самореализации каждого человека и адаптации образовательной траектории к уровню подготовки, особенностям, способностям и интересам человека<sup>1</sup>. Следует отметить, что требование адаптивности образования было установлено и в предыдущем законе «Об образовании»<sup>2</sup>, однако термин «адаптация» на законодательном уровне не утвержден.

В основе образования на протяжении долгого времени лежала когнитивная модель (Karnyushin, 2008), содержащая установку на предметные программы и фиксированные результаты, отбор талантливых детей и их последующее углубленное обучение. Начиная с 1990-х годов формируется личностно-ориентированная система образования (Varganyan & Kandybovich, 2000), основанная на дифференцированном подходе к каждому обучающемуся, развитии его индивидуальности, уникальности, неповторимости и самореализации. Следует отметить, что многие исследователи рассматривают возможности адаптивного обучения в качестве инструмента, повышающего эффективность образовательного процесса. Появление новых цифровых технологий и платформенных решений позволяет реализовать индивидуальный подход к обучению без увеличения нагрузки преподавателей. По мнению П. Келли, Х. Коутса и Р. Нейлора, онлайн-образование открывает новые возможности для обогащения образовательного опыта и улучшения академических результатов каждого студента, а образовательные учреждения получают возможность на основе образовательной аналитики яснее представить себе индивидуальные особенности студентов и помочь каждому добиться успеха, а в перспективе сформировать индивидуальную, адаптивную и изменяющуюся образовательную среду для каждого студента (Kelly et al., 2016).

Существует много различных подходов к реализации адаптивного обучения. Так, И. А. Кречетов и В. В. Романенко рассматривают практическую реализацию методов и технологий адаптивного обучения для построения оптимальной траектории изучения студентом модулей электронного курса (Krechetov & Romanenko, 2020). Khosravi, Sadiq, и Gasevic делятся опытом внедрения адаптивной системы обучения RiPPLE, в результате которого было выявлено, что привлечение студентов к созданию учебных ресурсов является эффективным способом использования их творческого потенциала с одновременным ростом результатов обучения. По мнению исследователей, адаптивное обучение помогает студентам лучше понять собственные потребности в обучении, а расширение возможностей преподавателей с помощью образовательных инструментов, аналитики и технической поддержки может улучшить практику преподавания (Khosravi et al., 2020). Н. И. Наумкин с кол-

<sup>1</sup> Федеральный закон от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» // КонсультантПлюс: [сайт]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_140174/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/) (дата обращения: 04.07.2022).

<sup>2</sup> Закон Российской Федерации от 10.07.1992 г. № 3266-1 «Об образовании» // КонсультантПлюс: [сайт]. URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_1888/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_1888/) (дата обращения: 04.07.2022).

легами, рассматривая модель индивидуальных образовательных траекторий для образования инженерных кадров, разработали алгоритм ее создания с использованием концептуально-целевого, нормативно-организационного, проектно-технологического, рефлексивно-оценочного и коррекционного компонентов (Naumkin et al., 2021). В. И. Токтарова и Д. Р. Маматов предложили применять адаптивное обучение, основываясь исключительно на познавательных стилях обучающихся (Toktarova & Mamatov, 2015). Ю. В. Вайнштейн с коллегами разработали трехступенчатую систему адаптации учебного контента (Vainshtein et al., 2017).

Важным вопросом является эффективность внедряемых в образовательный процесс адаптивных технологий. М. Лиу с коллегами, исследуя влияние адаптивных учебных интервенций на обучение студентов (Liu et al., 2017), выяснили, что преподаватели осознают преимущества адаптивного обучения, но экспериментальные исследования в этой области весьма ограничены. При исследовании адаптивного обучения на четырех университетских курсах они выявили, что лишь в одном курсе адаптивное обучение привело к приращению результатов обучения, при этом студенты признали опыт в целом положительным. Wang et al., изучая эффективность адаптивного обучения школьников, пришли к выводу, что ученики, которым в случайном порядке было предложено использовать адаптивную систему Squirrel AI Learning, продемонстрировали более высокие результаты по математике, чем ученики, которым в случайном порядке было предложено обучение под руководством учителей-экспертов. (Wang et al., 2023). С. С. Миронцева с коллегами, изучая интеграцию элементов персонализации обучения в электронный образовательный контент курса иностранного языка, на выборке в 100 студентов разработали сценарий прохождения курса, доказав эффективность этого инструмента в контексте смешанного формата обучения (Mirontseva et al., 2022). По мнению В. Г. Маняхиной, смешанное обучение может быть эффективным при условии использования модульного подхода для построения индивидуальных образовательных траекторий, включающего проектирование модулей с учетом условий избыточности, нелинейности, адаптивности и открытости (Manyakhina, 2022). Soltani A. и Izquierdo A. считают, что для успешного обучения и принятия решений при реализации адаптивного обучения требуется оценивать ожидаемую неопределенность (связанную с изменчивостью результатов) и неожиданную неопределенность (связанную с изменчивостью среды) (Soltani & Izquierdo, 2019). Исследователи отмечают, что быстрый рост цифровых технологий стимулирует активное развитие адаптивного обучения, однако практическое внедрение и эмпирическая оценка моделей адаптивного обучения отстает от огромного количества разработанных теорий адаптивного обучения (Vandewaetere et al., 2011).

Несмотря на множество теоретических и прикладных исследований в данной области, экспериментального подтверждения эффективности той или иной модели адаптивного обучения в литературе практически не встречается, а немногие эксперименты, описанные в вышеупомянутых работах, проведены на небольших выборках и не позволяют делать статистически значимые выводы.

### Методы исследования

Авторами проведен сравнительный анализ существующих моделей реализации адаптивного обучения: индивидуальное офлайн-обучение с преподавателем и адаптивное онлайн-обучение. После изучения достоинств и недостатков этих моделей авторами была предложена собственная модель адаптивного обучения.

Для апробации была выбрана дисциплина «Иностранный язык». В УрФУ студенты изучают иностранный язык на всех неязыковых специальностях на пер-

вом курсе бакалавриата и специалитета в течение двух семестров, что позволяет оценить эффективность разработанной методики на большой выборке студентов за один учебный год.

В рамках апробации формирование индивидуальной учебной траектории осуществлялось исходя из уровня входных знаний и навыков обучающихся по иностранному языку. Входной контроль проводился на основе специально разработанного преподавателями, реализующими дисциплину, диагностирующего теста Placement test. Выборка для исследования была сформирована из поступивших в 2020 году на первый курс 9 701 человек (за исключением магистрантов, студентов языковых специальностей, заочной формы обучения и поступивших в филиалы) и составила 5 154 студентов, прошедших входной диагностирующий тест.

Следует отметить, что цель и задачи обучения иностранному языку общие для всех студентов университета, так как эта дисциплина входит в «ядро» – блок дисциплин, которые осваивает каждый студент. Однако банк заданий, на котором студенты осваивают различные навыки, отличен для разных направлений обучения (естественно-научное, техническое, гуманитарное и др.) и включает профессиональную терминологию, специфичную для этих направлений.

В рамках апробации методики реализации адаптивного обучения сравнивались результаты итогового тестирования студентов, изучающих иностранный (английский) язык с использованием разных моделей обучения, с целью выявления наиболее эффективной модели, обеспечивающей максимальное приращение языковых навыков. Данные о результатах обучения и учебных активностях были выгружены из БРС университета и LMS-системы Moodle, на которой проходило обучение в смешанных моделях. Для традиционной модели учитывались данные о посещении занятий, результаты текущего контроля, зачета и экзамена. Для смешанной и смешанной адаптивной модели дополнительно учитывались количество обращений к компонентам онлайн-курса и результаты выполнения заданий онлайн-курса. Для смешанной адаптивной модели дополнительно учитывались переходы к заданиям смежных уровней сложности в процессе обучения.

Обработка результатов проводилась на основе методов описательной статистики. По результатам итогового тестирования студентов была проведена оценка эффективности предложенной методики реализации адаптивного обучения на основании сопоставления результатов освоения дисциплины «Иностранный язык» в разных моделях обучения.

### **Анализ моделей адаптивного обучения**

Под адаптивным обучением понимают процесс предоставления обучающемуся индивидуального опыта, в ходе которого происходит динамическая настройка (приспособление) траектории обучения под знания и навыки обучающегося с помощью своевременной обратной связи, педагогических приемов и образовательных ресурсов. В этом смысле самой эффективной адаптивной моделью является индивидуальное офлайн-обучение один на один с преподавателем, который на каждом шаге обучения гибко корректирует траекторию обучающегося с учетом текущего уровня его знаний, способностей, потребностей, особенностей. Интенсивность обучения напрямую зависит от возможностей обучающегося, но обычно она выше, чем при групповых занятиях, так как, находясь наедине с преподавателем, обучающийся полностью погружается в образовательный процесс, может задать вопрос и получить немедленную обратную связь. Основными недостатками данной модели являются высокая стоимость, низкий уровень самостоятельности обучающегося в освоении новых знаний и отсутствие групповых форм обучения,

способствующих развитию мягких навыков. Обычно эта модель используется непродолжительное время для ликвидации пробелов в знаниях и навыках по отдельным предметам или для подготовки к экзаменам. Адаптацию обучения осуществляет преподаватель в ручном режиме на основании результатов выполнения заданий и поступающих от обучающегося вопросов. Опытный преподаватель может реализовывать адаптивное обучение в малых группах (3-5 человек), уделяя каждому обучающемуся достаточное внимание и предоставляя индивидуальные задания, но при увеличении количества человек в группе эффективность обучения резко падает.

Противоположностью индивидуального оффлайн-обучения является адаптивное онлайн-обучение. Данная модель может быть реализована при наличии технологической платформы адаптивного обучения и специально разработанного учебного контента с качественными контрольно-измерительными материалами. Она может быть достаточно эффективной, так как опирается на большой массив собираемых на платформе данных об учебных активностях, темпе обучения и достижениях обучающихся. В процессе обучения цифровой след анализируется на основе статистических методов и алгоритмов машинного обучения. В зависимости от входного уровня знаний и навыков слушателей, их активности и текущего прогресса система автоматически выстраивает индивидуальную учебную траекторию, предлагая учебный контент и тестовые материалы внутри темы. Адаптивная модель онлайн-обучения позволяет управлять процессом обучения: задавать контрольные точки и процедуры проверки знаний, анализировать полученные умения и навыки обучающихся, рекомендовать последующие шаги обучения, прогнозировать успешность слушателей. Преимуществами этой модели являются следующие: использование различного типа контента (презентации, тесты, аудио-видеоматериалы, чат), что позволяет подобрать формат представления информации под различные стили обучения; неограниченный доступ к материалам и возможность их многократно пересматривать; возможность выбирать удобное время, место, собственный темп, график и сроки обучения; доступная стоимость. Недостатки модели – в асинхронном формате обучения и отсутствии личного контакта с преподавателем, индивидуальных проблемах с самоорганизацией и прокрастинацией, нерегулярности занятий, отсутствии привязки контрольных мероприятий и итоговой аттестации к конкретным датам. Адаптация процесса обучения осуществляется полностью в автоматическом режиме на основании инструментов интеллектуального анализа данных цифрового следа. При всей технологичности процесса обучения этой модели недостает мотивационного стимулирования слушателей в связи с недостатком личного контакта с преподавателем, что существенно снижает успешность обучения.

Исходя из преимуществ и недостатков рассмотренных моделей авторы предлагают в качестве альтернативы смешанную модель адаптивного обучения: адаптивное онлайн-обучение с участием преподавателя. Эта модель предполагает наличие адаптивного электронного курса на LMS-платформе для реализации части учебных занятий в формате онлайн-обучения, а также очные занятия с преподавателем. Это позволяет нивелировать недостатки онлайн-обучения и привнести достоинства индивидуального обучения с преподавателем. Результаты интеллектуального анализа цифрового следа в электронной информационно-образовательной среде позволяют преподавателю получить информацию о текущих достижениях обучающихся, выявить причинно-следственные связи между их активностями и результатами обучения, проанализировать знаниевые и навыковые разрывы и на основе рекомендаций системы скорректировать индивидуальные учебные траектории.

В процессе освоения курса преподаватель взаимодействует с обучающимися через сервисы электронной информационно-образовательной среды и на очных занятиях, в ходе которых он оказывает консультационную поддержку и мотивирует обучающихся, помогает им спланировать дальнейшие шаги в обучении с учетом индивидуальных особенностей таким образом, чтобы каждый достиг высоких результатов обучения, занимаясь в индивидуальном темпе в рамках заданных сроков обучения.

Адаптация процесса обучения осуществляется на основе данных учебной аналитики на LMS-платформе и обратной связи от обучающихся в процессе очного взаимодействия с преподавателем. В ходе онлайн-обучения система накапливает цифровой след обучающегося, представляет результаты анализа данных в графическом виде (например, периоды активности обучающихся, количество попыток сдачи тестов, прогресс отдельных обучающихся на фоне средних групповых показателей и т. д.), рекомендует дальнейшие шаги обучения, предлагая перейти к следующему уровню сложности или к следующей теме, вернуться на предыдущую ступень и т. д. На основе рекомендаций системы и обратной связи от обучающихся преподаватель принимает решение о дальнейших шагах обучения, выстраивая для каждого обучающегося индивидуальную учебную траекторию. Последнее добавляет элемент нерациональности в управление учебным процессом, позволяя усилить гуманистический подход в обучении. Преимуществами данной модели адаптивного обучения являются сочетание синхронного и асинхронного форматов обучения, учет индивидуальных предпочтений и возможностей обучающегося, фиксированные сроки обучения, привязка контрольных мероприятий и итоговой аттестации к определенным датам с учетом индивидуального темпа освоения материалов слушателями курса.

### **Методика реализации смешанного адаптивного обучения**

На Рисунке 1 представлена разработанная процессная схема реализации адаптивного обучения на основе интеллектуального анализа данных цифрового следа обучающихся с активным участием преподавателя.

Активная роль преподавателя, который выступает в качестве фасилитатора обучения, заключается в мониторинге успешности обучающихся и принятии решений на основе рекомендаций системы по их дальнейшим шагам обучения. Это позволяет оптимизировать путь достижения конкретным студентом целевого уровня знаний, умений и навыков. При этом преподаватель имеет возможность использовать активные методы обучения, консультировать студентов, влиять на формирование индивидуальных учебных траекторий в процессе обучения, подстраивая их под индивидуальные особенности обучающихся. Адаптация учебного процесса осуществляется на двух уровнях: технологическом (на основе результатов учебной аналитики система выдает рекомендации по дальнейшим шагам обучения) и человеческом (преподаватель принимает решение, основываясь на рекомендациях системы и обратной связи от студентов). Главной задачей адаптивного обучения является выстраивание индивидуальной учебной траектории для каждого студента и повышение эффективности его учебной деятельности с учетом входного уровня навыков, индивидуальных особенностей восприятия информации и скорости освоения новых знаний (Goncharova et al., 2021).

Опишем процессную схему реализации методики адаптивного обучения в смешанной модели. Перед началом обучения каждый студент проходит входное тестирование для измерения уровня его знаний и навыков и анкетирование для определения целей обучения, его стиля обучения и индивидуальных предпочтений.

По каждому курсу разрабатывается набор входных тестовых заданий разного уровня сложности: начальный; средний; продвинутый. Для определения входного уровня обучающемуся предлагается тестовое задание среднего уровня сложности. Если обучающийся правильно отвечает на заданное количество вопросов среднего уровня сложности, сложность следующего задания повышается, если нет – понижается. Уровней может быть любое количество, в зависимости от курса ( $i = 1 \div N$ ).

На следующем шаге система предоставляет обучающемуся соответствующий его уровню контент по первому модулю ( $j = 1 \div M$ ). Выбор контента происходит в зависимости от предпочитаемого студентом способа освоения информации через разные виды учебных заданий и формы, формируя индивидуальный сценарий взаимодействия студентов с образовательным контентом и набор заданий разных уровней сложности, позволяющих активизировать сильные стороны обучающегося, запустить предпочитаемые типы познавательной активности и обеспечить свободу выбора. После изучения материалов по первому модулю система проводит промежуточный контроль. В случае успешного выполнения промежуточных контрольных заданий по первому модулю система переводит обучающегося на следующий модуль курса. После освоения обучающимся материалов по следующему модулю система снова проводит промежуточный контроль и так далее – до последнего модуля курса. После успешного прохождения всех модулей курса и успешной сдачи итогового тестирования цикл обучения по курсу заканчивается.

В случае разового неуспешного выполнения промежуточных контрольных заданий система переводит обучающегося на начало текущего модуля курса и рекомендует повторное изучение материалов модуля. В случае многократного неуспешного выполнения промежуточных контрольных заданий (при количестве повторов больше минимально возможного, но меньше максимально возможного) система переводит обучающегося на начало предыдущего модуля курса и повторное изучение материалов предыдущего модуля.

В случае многократного неуспешного выполнения промежуточных контрольных заданий (при количестве повторов больше максимально возможного), а также в случае успешного выполнения заданий по модулю нестандартным (нетривиальным) способом система проводит анализ цифрового следа (скорости усвоения учебной информации, умения обрабатывать информацию различной сложности, детализации результатов промежуточного контроля и т. д.).

На основании анализа цифрового следа преподаватель принимает решение об изменении учебной траектории: понижении или повышении уровня предоставляемого контента и/или изменении индивидуальных сценариев взаимодействия обучающегося с адаптивным контентом.

После успешного прохождения итогового контроля по курсу система проводит оценку полученных знаний, умений и навыков (ЗУН). На этом обучение по курсу заканчивается. Результаты обучения по курсу конвертируются в балльно-рейтинговую систему (БРС).

Предложенная модель адаптивного обучения по курсу «Иностранный язык» программно реализуется в LMS Moodle версии 3.2.3 «as is» (<https://exam1.urfu.ru>), то есть без внесения изменений в структуру базы данных, код ядра и стандартных плагинов. Возможностей, заложенных в ядро системы, доступности готовых плагинов и наличия необходимых администраторских и пользовательских интерфейсов достаточно для реализации модели адаптивного обучения. LMS Moodle интегрирован с общеуниверситетской системой данных и единым каталогом пользовате-

лей. Создание пользователей происходит автоматически: ежедневно добавляются все вновь появившиеся в учетных системах университета студенты и сотрудники. SAML-авторизация по корпоративной учетной записи обеспечивает обновление данных о статусе пользователя в момент авторизации.

Профиль пользователя-студента дополняется полем «Уровень» (A0, A1, A2, B1, B2, C1), позволяющим гибко настраивать доступ к различным элементам курса. Редактировать профиль (изменять уровень) могут только пользователи с правами администратора.

Для входного тестирования используется Placement test (<https://exam1.urfu.ru/>), для промежуточной аттестации и аттестации по окончании курса используются разные сегменты уровня банка заданий (<https://exam2.urfu.ru/>). Курс состоит из 10 тематических разделов (<https://exam1.urfu.ru/>), каждая тема которого включает семь объектов: лексика, грамматика, пять уровней тестов. Теоретический лексический и грамматический материал доступен для ознакомления всем студентам независимо от их текущего уровня.

Тесты содержат задания на лексику, грамматику, чтение и аудирование. Содержание заданий базируется на теоретическом материале как текущей темы, так и ранее изученных. В зависимости от темы и уровня тест содержит от четырех до семи заданий-кейсов. Первоначально студенту доступен только тест того уровня, который указан в профиле пользователя. Студенту дается три попытки на выполнение заданий своего уровня без ограничения по времени. После каждой попытки студент может ознакомиться с ответами, узнать первичный балл и процент выполнения. Для выполнения текущих заданий поставлена цель в 80% верных ответов.

Тестирование проводится при помощи банка заданий, разделенных по уровням. При правильном ответе следующее задание берется из более высокого уровня, при неправильном ответе – из более низкого.

Таким образом, студентам предоставляется возможность выполнения более простых заданий для ликвидации пробелов в знаниях и навыках, а также стимулируется выполнение заданий более высокого уровня. При выставлении результатов текущего контроля за каждую пройденную тему в БРС санкции предусмотрены только за невыполнение теста «своего» уровня. Результаты выполнения тестов более низкого уровня не учитываются. В случае выполнения теста более высокого уровня не ниже 60% преподаватель может применить повышающий коэффициент для поощрения работы студента.

Для реализации курса перед началом очередного семестра в БРС единообразно (одинаковые виды нагрузки и одинаковые контрольные точки) настраиваются технологические карты. Каждый тест, результаты которого передаются в БРС, ассоциируется с контрольной точкой в LMS Moodle.

После выполнения студентами теста преподаватель отмечает зачетные результаты и отправляет их в БРС, запуская скрипт, собирающий сведения из стандартных таблиц базы данных Moodle и записывающий их в специально созданную таблицу для экспорта.

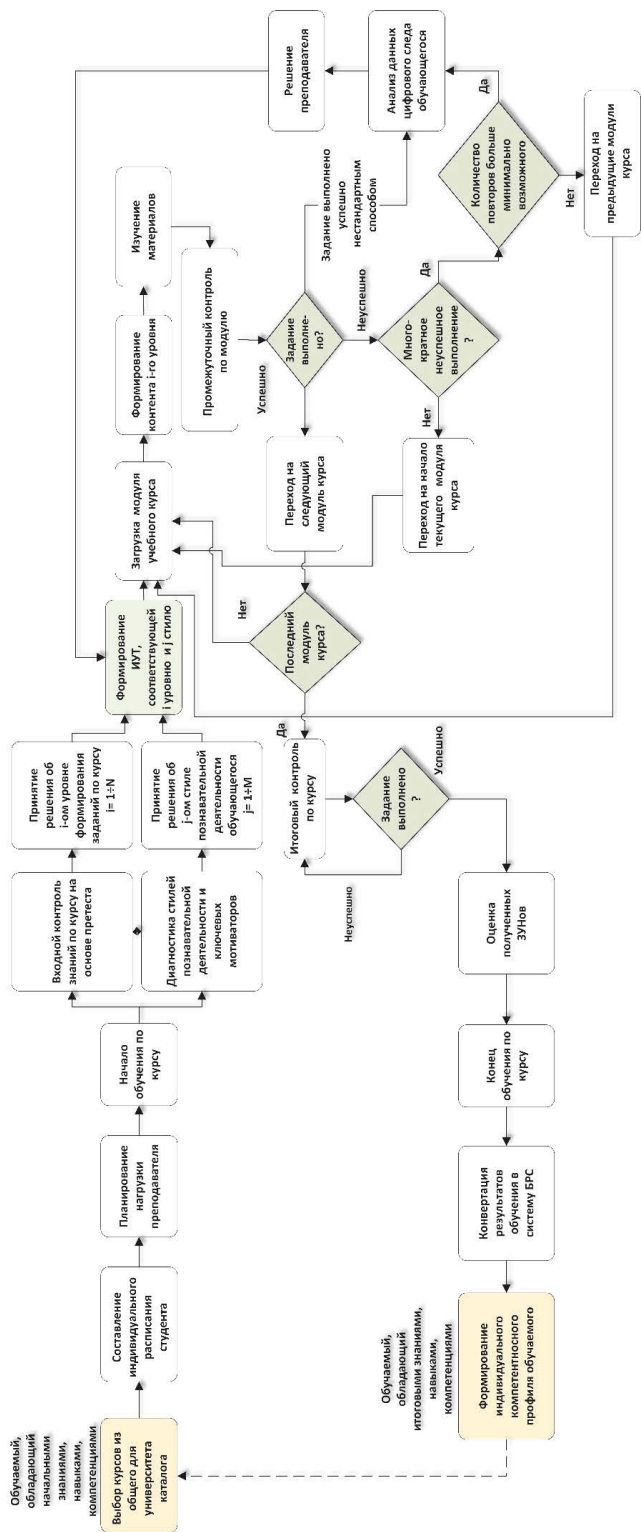


Рисунок 1. Процессная схема реализации адаптивного обучения

### Апробация методики реализации адаптивного обучения и сравнение моделей

С осеннего семестра 2020-2021 года в университете начата апробация методики реализации адаптивного обучения на примере курса «Иностранный язык» в LMS-системе Moodle, разработанного на основе авторской процессной схемы реализации адаптивного обучения, представленной на Рисунке 1. После проведения входного тестирования и собеседования с преподавателем у каждого студента был определен начальный уровень владения иностранным языком, после чего были сформированы уровневые группы, каждая из которых была поделена на три подгруппы в соответствии с применяемыми моделями обучения.

Для оценки эффективности разных моделей обучения студенты были распределены следующим образом:

- традиционная модель обучения, предполагающая только очные занятия со студентами два раза в неделю – 228 студентов;
- смешанная модель обучения с одинаковой для всех студентов учебной траекторией, предполагающая очные занятия со студентами и использование внутреннего электронного учебного курса УрФУ или внешнего ресурса на платформе Skyes – 3 910 студентов;
- смешанная адаптивная модель обучения, предполагающая очные занятия и освоение адаптивного онлайн-курса с выстраиванием индивидуальной учебной траектории на основании анализа цифрового следа и индивидуальных особенностей обучающихся – 1 016 студентов.

По окончании 2020-2021 учебного года были проанализированы результаты итогового тестирования студентов, обучавшихся в разных моделях. Результаты анализа приведены в Таблице 1. В таблице отсутствуют данные по уровню A0, так как в течение первого семестра студенты продемонстрировали значительный прогресс и были переведены в группу уровня A1. Также в таблице отсутствуют данные по уровню C1, так как из-за малочисленности данной группы (27 человек) их не разделяли по разным технологиям обучения. Следует также отметить, что из 5 154 студентов, прошедших входное тестирование, итоговое тестирование прошел 4 861 студент. Оставшиеся 293 студента по разным причинам не участвовали в итоговом тестировании (были отчислены, ушли в академический отпуск или пропустили тестирование по болезни).

Уровень освоенных навыков анализировался при помощи заданий, дифференцированных по уровням знания иностранного языка. Результаты итогового тестирования оценивались по 100-балльной шкале. Промежуточная аттестация по курсу проводилась в форме дифференцированного зачета, итоговая аттестация по курсу – в форме экзамена.

Анализ полученных результатов показал, что самые низкие результаты освоения курса иностранного языка показала традиционная модель обучения по всем уровням. Результаты оценок при смешанной модели обучения выше, чем при традиционной на 26,9%, а при смешанной адаптивной выше традиционной на 36,9%. При этом наиболее высокая разница оценок наблюдается у студентов уровня A1 по аудированию: 73,9% и 116,6% соответственно. Это можно объяснить тем, что аудирование является наиболее сложным видом речевой деятельности и вызывает наибольшие трудности у студентов. При этом понимание услышанного текста гораздо выше при использовании смешанной и смешанной адаптивной моделей обучения, так как студент может минимизировать посторонний шум, мешающий при восприятии иностранной речи, и прослушать непонятный текст столько раз, сколько нужно для понимания смысла, а преподаватель может создать наиболее благоприятные

ятные условия для прослушивания фрагмента и оценить, какие трудности возникли в процессе аудирования, выработать стратегии их преодоления.

**Таблица 1.** Сравнительный анализ медианных результатов итоговых оценок студентов по навыкам владения иностранным языком для разных моделей обучения

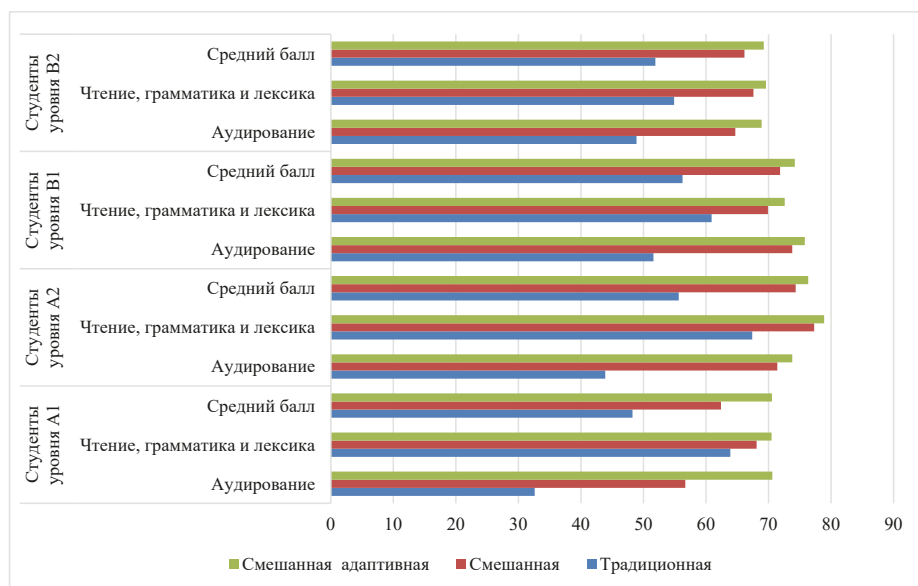
| Уровень                            | Количество тестируемых студентов, чел. | Проверяемый навык            | Традиционная (Т), баллы | Смешанная (С), баллы | Смешанная адаптивная (СА), баллы | Изменение С/Т, % | Изменение СА/Т, % | Изменение СА/С, % |
|------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Студенты уровня А1                 | 2 399                                  | Аудирование                  | 32,6                    | 56,7                 | 70,6                             | +73,9            | +116,6            | +24,5             |
|                                    |                                        | Чтение, грамматика и лексика | 63,9                    | 68,1                 | 70,5                             | +6,57            | +10,3             | +3,5              |
|                                    |                                        | Средний балл                 | 48,25                   | 62,4                 | 70,55                            | +29,3            | +46,2             | +13,06            |
| Студенты уровня А2                 | 1 527                                  | Аудирование                  | 43,9                    | 71,4                 | 73,8                             | +62,6            | +68,1             | +3,36             |
|                                    |                                        | Чтение, грамматика и лексика | 67,4                    | 77,3                 | 78,9                             | +14,69           | +17,06            | +2,07             |
|                                    |                                        | Средний балл                 | 55,65                   | 74,35                | 76,35                            | +33,6            | +37,2             | +2,7              |
| Студенты уровня В1                 | 755                                    | Аудирование                  | 51,6                    | 73,8                 | 75,8                             | +43,02           | +46,9             | +2,7              |
|                                    |                                        | Чтение, грамматика и лексика | 60,9                    | 69,9                 | 72,6                             | +14,78           | +19,2             | +3,9              |
|                                    |                                        | Средний балл                 | 56,25                   | 71,85                | 74,2                             | +27,7            | +31,9             | +3,27             |
| Студенты уровня В2                 | 153                                    | Аудирование                  | 48,9                    | 64,7                 | 68,9                             | +32,3            | +40,9             | +6,5              |
|                                    |                                        | Чтение, грамматика и лексика | 54,9                    | 67,6                 | 69,6                             | +23,1            | +26,8             | +2,96             |
|                                    |                                        | Средний балл                 | 51,9                    | 66,15                | 69,25                            | +27,5            | +33,4             | +4,7              |
| Итого средний балл по всем уровням |                                        |                              | 53,01                   | 68,69                | 72,59                            | +29,6            | +36,9             | +5,7              |

Более низкие результаты оценок уровня В2 по сравнению с уровнем В1 объясняются, с одной стороны, более сложными заданиями по всем проверяемым навыкам, а с другой – небольшим по сравнению с другими уровнями количеством протестированных студентов.

На Рисунке 2 представлены результаты оценок студентов для разных моделей обучения по уровням владения иностранным языком.

Рисунок наглядно демонстрирует преимущества смешанной и смешанной адаптивной моделей обучения над традиционной. Более низкие оценки при традиционной модели обучения можно объяснить тем, что на очных групповых занятиях преподаватель ориентируется на средний уровень студентов группы, а студентам, в свою очередь, приходится считаться с остальными участниками группы: у студентов группы может быть разный словарный запас, разная степень усвоения нового материала, разная скорость выполнения заданий преподавателя, разная скорость ответа на вопросы и т. д. Более высокие оценки при смешанной модели обучения объясняются тем, что часть занятий проходит в онлайн-формате, при котором студент может заниматься в комфортном темпе, регулировать интенсивность занятий, по несколько раз выполнять сложные задания, возвращаться повторно к непонятому материалу. Самые высокие оценки студенты показали при смешанной

адаптивной модели обучения, что обеспечивается регулярным анализом цифрового следа обучающегося и корректировкой (при необходимости) индивидуальной учебной траектории обучающегося для максимально быстрого устранения его знаниевых и навыковых разрывов.



**Рисунок 2.** Результаты оценок студентов для разных моделей обучения по уровням владения иностранным языком

### Обсуждение полученных результатов

Полученные результаты апробации разработанной методики адаптивного обучения в смешанной модели показывают рост образовательных результатов студентов. Рассмотрим результаты предыдущих исследований. Так, И. А. Кречетов и В. В. Романенко доказали на примере курса «Общая химия» эффективность применения адаптивного обучения, основанного на генетическом алгоритме генерации последовательности образовательных модулей, выявив в исследовании успеваемости групп одного потока одного направления подготовки, обучающихся у одного преподавателя, увеличение доли студентов, успешно справившихся с контрольным мероприятием, на 39% – по лабораторным занятиям и на 17% – по практическим занятиям (Krechetov & Romanenko, 2020). Ю. В. Вайнштейн с коллегами на примере курса «Дискретная математика», реализуемого при помощи адаптивного электронного обучающего ресурса, предполагающего трехступенчатую систему адаптации учебного контента (вводная, текущая, оценочно-корректирующая), выявили превышение на 6% результативности экспериментальной группы студентов из 121 человека по сравнению с контрольной группой студентов в 119 человек (Vainshtein et al., 2017). В. И. Токтарова и Д. Р. Маматов, рассмотрев реализацию адаптивной модели обучения VARK на основе познавательных стилей студентов (визуальный, аудиальный, вербальный, кинестетический и мультимодальный), доказали ее эффективность на основе результатов контрольных мероприятий и диагностики уровня профессиональной подготовки 31 студента (Toktarova & Mamatov, 2015).

Wang et al. провели два эксперимента на примере изучения математики, в первом приняли участие 200 учащихся 8-го класса, случайно разбитые на две равные большие группы: 100 человек использовали систему адаптивного обучения Squirrel AI Learning и 100 человек приняли участие в контрольной группе. Входная оценка не выявила различий между участниками этих групп, а итоговый результат показал, что 64,4% группы адаптивного обучения показали более высокий результат по сравнению с контрольной группой. Во втором эксперименте приняли участие 102 человека, которых случайно разбили на две малые группы, и результат был аналогичным первому исследованию: 75,5% участников группы адаптивного обучения показали более высокий образовательный результат (Wang et al., 2023).

Таким образом, можно наблюдать превосходство адаптивного обучения над другими моделями, хотя доказательство эффективности на примере небольшой выборки студентов несколько ограничено.

Проведенное массовое исследование эффективности разработанной авторами методики реализации адаптивного обучения на основе интеллектуального анализа данных цифрового следа с активным участием преподавателя в мониторинге успешности обучающихся и выстраивании их индивидуальных учебных траекторий позволяет говорить о том, что адаптивное обучение может быть успешно реализовано крупным вузом для большого количества студентов с разными стилями познавательной деятельности, обладающих различным уровнем знаний в начале освоения курса.

## Заключение

В исследовании решены актуальные проблемы в направлении совершенствования учебного процесса через внедрение адаптивного обучения. Разработана методика реализации смешанного адаптивного обучения на основе специально разработанного онлайн-курса с активным участием преподавателя в формировании индивидуальной учебной траектории обучающегося с учетом уровня входных знаний конкретного студента. За основу была принята смешанная модель обучения: часть занятий проводилась в онлайн-формате с сопровождением преподавателем, а вторая часть – в очном формате. На основе пилотной апробации в УрФУ доказана эффективность предложенной методики реализации смешанного адаптивного обучения в образовательном процессе.

Практическая значимость исследования состоит в том, что использование разработанной методики реализации адаптивного обучения позволит выйти на более высокий качественный уровень профессиональной подготовки, обеспечивающий индивидуально-дифференцированное развитие студента. Выстраивание индивидуальной учебной траектории, учитывающее уровень входных знаний конкретного обучающегося, стиль его познавательной деятельности и индивидуальные предпочтения, позволит каждому студенту получить уникальный набор компетенций и повысить эффективность его учебной деятельности. Полученный практический опыт применения методики реализации адаптивного обучения может быть использован при совершенствовании учебного процесса в других образовательных организациях.

Предлагаемые закономерности, положения и выводы создают предпосылки для дальнейшего изучения особенностей построения индивидуализированного учебного процесса и совершенствования методики адаптивного обучения в методологическом, содержательном и организационном аспектах. Последующие научные изыскания по данной проблематике будут включать вопросы, связанные с расширением количества образовательных модулей, реализуемых с использованием

адаптивного обучения в смешанной модели с активным участием преподавателей в мониторинге успешности обучающихся и формировании их индивидуальных образовательных траекторий.

## Список литературы

- Вайнштейн, Ю. В., Шершнева, В. А., Есин, Р. В., Зыкова, Т. В. Адаптация математического образовательного контента в электронных обучающих ресурсах // Открытое образование. – 2017. – № 4. – С. 4–12. – DOI:10.21686/1818-4243-2017-4-4-12
- Варгамян, М., Кандыбович, А. Организационно-педагогическая модель адаптивной школы // Директор школы. – 2000. – № 6. – С. 97–111.
- Карнущин, В. А. Адаптивная школа как иная парадигма образования // Известия Смоленского государственного университета. – 2008. – № 3. – С. 164–170.
- Келли, П., Коутс, Х., Нейлор, Р. Онлайн-образование: путь от участия к успеху (пер. с англ. Е. Шадрин) // Вопросы образования. – 2016. – №3. – С. 34–58. – DOI:10.17323/1814-9545-2016-3-34-58
- Кречетов, И. А., Романенко, В. В. Реализация методов адаптивного обучения // Вопросы образования. – 2020. – № 2. – С. 252–277. – DOI:10.17323/1814-9545-2020-2-252-277
- Маняхина, В. Г. Условия эффективности смешанного обучения // Наука и школа. – 2022. – №5. – С. 107–120.
- Миронцева, С. С., Павлова, Т. А., Семёнкина, И. А., Шевченко, В. И., Ченгарь, О. В. Интеграция элементов персонализации обучения в электронный образовательный контент курса по иностранному языку в вузе // Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2022. – Т. 7. – № 3. – С. 343–351. – DOI:10.30853/ped20220039
- Наумкин, Н. И., Агеев, В. А., Садиева, А. Э., Анохин, А. В., Шекшаева, Н. Н., Забродина, Е. В. Разработка модели создания индивидуальных образовательных траекторий в инженерном образовании // Интеграция образования. – 2021. – Т. 25. – № 3. – С. 513–531. – DOI:10.15507/1991-9468.104.025.202103.513-531
- Пеша, А. В. Развитие цифровых компетенций и цифровой грамотности в XXI веке: обзор исследований // Образование и саморазвитие. – 2022. – Т. 17. – № 1. – С. 201–220. – DOI:10.26907/esd.17.1.16
- Токтарова, В. И., Маматов, Д. Р. Реализация модели адаптивного обучения на основе познавательных стилей // Теория и практика общественного развития. – 2015. – № 8. – С. 242–246.
- Daineko, L., Goncharova, N., Larionova, V. Creating an Adaptive Learning Model Based on the Learner's Digital Footprint // EDULEARN21: Proceedings of 13th International Conference on Education and New Learning Technologies, Spain, July 2021. – P. 4230–4237. – DOI:10.21125/edulearn.2021.0896
- Goncharova, N., Daineko, L., Larionova, V. Development of an Adaptive Learning Model Based on Digital Technologies and the Work of the Teacher // INTED2021: Proceedings of 15th International Technology, Education and Development Conference, Spain, March 2021. – P. 6549–6558. – DOI:10.21125/inted.2021.1307
- Khosravi, H., Sadiq, S., Gasevic, D. Development and adoption of an adaptive learning system: Reflections and lessons learned // Proceedings of the 51st ACM technical symposium on computer science education, February 2020. – P. 58–64. – DOI:10.1145/3328778.3366900
- Liu, M., McKelroy, E., Corliss, S. B., Carrigan, J. Investigating the effect of an adaptive learning intervention on students' learning // Educational technology research and development. – 2017. – No. 65. – P. 1605–1625. – DOI:10.1007/s11423-017-9542-1
- Softani, A., Izquierdo, A. Adaptive learning under expected and unexpected uncertainty // Nature Reviews Neuroscience. – 2019. – Vol. 20. – P. 635–644. – DOI:10.1038/s41583-019-0180-y
- Vandewaetere, M., Desmet, P., Clarebout, G. The contribution of learner characteristics in the development of computer-based adaptive learning environments // Computers in Human Behavior. – 2011. – Vol. 27. – No. 1. – P. 118–130. – DOI:10.1016/j.chb.2010.07.038
- Wang, S., Christensen, C., Cui, W., Tong, R., Yarnall, L., Shear, L., & Feng, M. When adaptive learning is effective learning: comparison of an adaptive learning system to teacher-led instruction // Interactive Learning Environments. – 2023. – Vol. 31. – No. 2. – P. 793–803. – DOI:10.1080/10494820.2020.1808794

## References

- Daineko, L., Goncharova, N. & Larionova, V. (2021). Creating an Adaptive Learning Model Based on the Learner's Digital Footprint. In *EDULEARN21: Proceedings of 13th International Conference on Education and New Learning Technologies* (pp. 4230–4237). IATED. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2021.0896>
- Goncharova, N., Daineko, L. & Larionova, V. (2021). Development of an Adaptive Learning Model Based on Digital Technologies and the Work of the Teacher. In *INTED2021: Proceedings of 15th International Technology, Education and Development Conference* (pp. 6549–6558). IATED. <https://doi.org/10.21125/inted.2021.1307>
- Karnyushin, V. A. (2008). Adaptive School as a different paradigm of education. *Izvestiya Smolenskogo gosudarstvennogo universiteta – Izvestia of Smolensk State University*, 3, 164–170.
- Kelly, P., Coates, H. & Naylor, R. (2016). Leading Online Education from Participation to Success (E. Shadrina, Trans.). *Voprosy obrazovaniya – Educational Studies Moscow*, 3, 34–58. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2016-3-34-58>
- Khosravi, H., Sadiq, S., & Gasevic, D. (2020). Development and adoption of an adaptive learning system: Reflections and lessons learned. In *Proceedings of the 51st ACM technical symposium on computer science education* (pp. 58–64). <https://doi.org/10.1145/3328778.3366900>
- Krechetov, I. A., & Romanenko, V. V. (2020). Implementing the Adaptive Learning Techniques. *Voprosy obrazovaniya – Educational Studies Moscow*, 2, 252–277. <https://doi.org/10.17323/1814-9545-2020-2-252-277>
- Liu, M., McKelroy, E., Corliss, S. B. & Carrigan, J. (2017). Investigating the effect of an adaptive learning intervention on students' learning. *Educational technology research and development*, 65, 1605–1625. <https://doi.org/10.1007/s11423-017-9542-1>
- Manyakhina, V. G. (2022). Conditions for blended learning effectiveness. *Nauka i shkola – Science and School*, 5, 107–120.
- Mirontseva, S. S., Pavlova, T. A., Semyonkina, I. A., Shevchenko, V. I., & Chengar, O. V. Integration of learning personalization elements into electronic educational content of foreign language university course. *Pedagogika. Voprosy teorii i praktiki. – Pedagogy. Theory & Practice*, 7(3), 343–351. <https://doi.org/10.30853/ped20220039>
- Naumkin, N. I., Ageev, V. A., Sadieva, A. E., Anokhin, A. V., Shekshaeva, N. N., & Zabrodina, E. V. (2021). Development of a model for individual educational pathways in engineering education. *Integraciya obrazovaniya – Integration of Education*, 25(3), 513–531. <https://doi.org/10.15507/1991-9468.104.025.202103.513-531>
- Pesha, A. V. (2022). The development of digital competencies and digital literacy in the 21st century: A survey of studies. *Obrazovanie i samorazvitiye – Education and Self Development*, 17(1), 201–220. <https://doi.org/10.26907/esd.17.1.16>
- Soltani, A., & Izquierdo, A. (2019). Adaptive learning under expected and unexpected uncertainty. *Nature Reviews Neuroscience*, 20, 635–644. <https://doi.org/10.1038/s41583-019-0180-y>
- Toktarova, V. I., & Mamatov, D. R. (2015). Implementation of the adaptive learning model based on learning styles. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya – Theory and Practice of Social Development*, 8, 242–246.
- Vainshtein, Yu. V., Shershneva, V. A., Esin, R. V., & Zyкова T. V. (2017). Adaptation of mathematical educational content in e-learning resources. *Otkrytoe obrazovanie – Open education*, 4, 4–12. <https://doi.org/10.21686/1818-4243-2017-4-4-12>
- Vandewaetere, M., Desmet, P. & Clarebout, G. (2011). The contribution of learner characteristics in the development of computer-based adaptive learning environments. *Computers in Human Behavior*, 27(1), 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.07.038>
- Vargamyan, M. & Kandybovich, A. (2000). Organisational and pedagogical model of an adaptive school. *Direktor shkoly – Headmaster*, 6, 97–112.
- Wang, S., Christensen, C., Cui, W., Tong, R., Yarnall, L., Shear, L., & Feng, M. (2023). When adaptive learning is effective learning: comparison of an adaptive learning system to teacher-led instruction. *Interactive Learning Environments*, 31(2), 793–803. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1808794>