

DATA SCIENCE В УПРАВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ

Адаптивные интеллектуальные системы поддержки обучения в высшей школе: подходы, технологии, эффекты

Елена Юрьевна Голованова

Доцент
Башкирский государственный медицинский университет
Уфа, Россия
elenagolovanova@live.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Карина Николаевна Моругова

Старший преподаватель
Башкирский государственный медицинский университет
Уфа, Россия
karinamorugova@yandex.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Марина Ивановна Сорокина

Старший преподаватель
Башкирский государственный медицинский университет
Уфа, Россия
marina-sorokina-73@inbox.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Ольга Анатольевна Майорова

Доцент
Башкирский государственный медицинский университет
Уфа, Россия
gamka1@yandex.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Алсу Альфирова Миннигалеева

Старший преподаватель
Башкирский государственный медицинский университет
Уфа, Россия
alsu_chulpanova@mail.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 02.06.2024

Принята 24.07.2024

Опубликована 15.08.2024

УДК 378.147:004.94

DOI 10.25726/a6526-9930-0748-x

EDN PMAKNC

ВАК 5.8.7. Методология и технология профессионального образования (педагогические науки)

OECD 05.03.HE. EDUCATION, SPECIAL

Аннотация

Статья посвящена проблеме внедрения адаптивных интеллектуальных систем поддержки обучения (АИСПО) в образовательный процесс высшей школы. Цель работы - выявить ключевые подходы к проектированию АИСПО, проанализировать эффекты их применения и определить перспективные направления развития данной технологии. Методологическую основу составили системный подход, сравнительный анализ, методы математической статистики. Эмпирическая база включает результаты опросов 1250 студентов и 150 преподавателей из 15 вузов РФ, а также данные о внедрении АИСПО в 30 университетах за период 2018-2023 годов. Установлено, что эффективность АИСПО зависит от степени персонализации, интерактивности, использования методов ИИ. На основе кластерного анализа выделено 3 уровня адаптивности систем. Выявлена положительная связь между уровнем адаптивности АИСПО и академической успеваемостью ($r=0,68$; $p<0,01$), мотивацией студентов ($r=0,74$; $p<0,01$). Намечены перспективы развития АИСПО в направлении интеллектуализации, открытости, интеграции с другими технологиями смешанного обучения. Полученные результаты могут служить основой для проектирования адаптивных образовательных систем нового поколения.

Ключевые слова

адаптивное обучение, интеллектуальные обучающие системы, персонализация, высшее образование, поддержка обучения, смешанное обучение, машинное обучение.

Введение

Стремительное развитие цифровых технологий открывает новые возможности для персонализации и адаптации образовательного процесса в высшей школе (Brusilovsky, 2009). В условиях растущего разнообразия контингента студентов и запроса на индивидуальные образовательные траектории особую актуальность приобретают адаптивные интеллектуальные системы поддержки обучения (АИСПО) (De Bra, 2015). Несмотря на активное внедрение АИСПО в университетах, многие вопросы, связанные с их проектированием и оценкой эффективности, остаются дискуссионными (Graf, 2009). Цель данной статьи - на основе анализа современных подходов к разработке АИСПО выявить ключевые факторы их результативности и определить перспективные направления развития данной технологии в высшем образовании.

Концепция адаптивного обучения, лежащая в основе АИСПО, предполагает динамическую адаптацию содержания, темпа, методов обучения к индивидуальным характеристикам студента (Griff, 2013). Теоретические основы адаптивного обучения были заложены в работах Б. Скиннера, Н. Краудера еще в 1950-х годах, однако его практическая реализация стала возможной лишь с развитием ИКТ (Karampiperis, 2010). Современные АИСПО используют методы искусственного интеллекта (ИИ) для построения моделей обучающихся, генерации персонализированного контента, интеллектуального анализа образовательных данных (Knutov, 2019). При этом степень адаптивности систем варьируется от элементарной навигации на основе ответов студента до комплексного динамического управления обучением (Magoulas, 2018).

Сравнительный анализ подходов к разработке АИСПО показывает, что наиболее перспективными являются системы, основанные на методах машинного обучения и анализа больших данных (Shute, 2012). Они позволяют строить точные предиктивные модели, учитывающие множество скрытых закономерностей в поведении студентов (Sonwalkar, 2013). Другим важным трендом является интеграция АИСПО с технологиями смешанного обучения, что позволяет обеспечить бесшовность адаптивной поддержки в разных форматах (Truong, 2016). Однако эмпирические исследования эффективности АИСПО пока немногочисленны и не дают однозначных результатов (Vandewaetere, 2015).

Проведенный анализ позволил выявить ряд нерешенных проблем в области адаптивного обучения. Во-первых, отсутствует общепринятый понятийный аппарат, что затрудняет сопоставление подходов и систематизацию эффектов (Yang, 2014). Во-вторых, недостаточно исследованы факторы, определяющие адаптивный потенциал систем и их влияние на результаты обучения (Соболева, 2013).

В-третьих, дискуссионными остаются этические и правовые аспекты сбора и использования персональных данных в АИСПО (Карпенко, 2015). Решение этих вопросов требует проведения масштабных междисциплинарных исследований на стыке педагогики, информатики, психологии.

Предлагаемый в данной статье подход нацелен на преодоление отмеченных пробелов за счет комплексного анализа опыта внедрения АИСПО в российских вузах. Уникальность подхода состоит в сочетании количественных и качественных методов, позволяющих выявить устойчивые паттерны влияния характеристик АИСПО на образовательные результаты. Ожидается, что полученные выводы станут основой для разработки научно-обоснованных рекомендаций по проектированию адаптивных систем нового поколения, отвечающих вызовам цифровой трансформации высшего образования.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели применялся комплекс взаимодополняющих методов. Теоретико-методологическую базу составили системный подход, позволяющий рассматривать АИСПО как сложный многокомпонентный объект, и сравнительный анализ, дающий возможность сопоставить разные подходы к их разработке и оценке эффективности. Эмпирическое исследование включало серию опросов 1250 студентов и 150 преподавателей из 15 российских вузов, в которых используются АИСПО. Выборка формировалась на основе квотного принципа с учетом профиля, размера вуза и опыта работы с АИСПО (не менее 2-х лет). Опрос проводился онлайн с помощью сервиса Google Forms.

Для анализа данных о внедрении АИСПО привлекались открытые отчеты, публикации представителей 30 университетов, отражающие опыт использования 18 систем за период 2018-2023 годов. На основе контент-анализа были закодированы ключевые характеристики систем (архитектура, функционал, модели адаптации) и показатели результативности (охват пользователей, динамика успеваемости, удовлетворенность). Надежность кодирования обеспечивалась привлечением двух независимых экспертов (каппа Коэна – 0,87).

Количественный анализ данных производился в программе SPSS 23.0 с применением методов описательной и индуктивной статистики (анализ частот, таблицы сопряженности, корреляционный, кластерный анализ). Для оценки связи номинальных переменных использовался критерий хи-квадрат, для порядковых – коэффициент корреляции Спирмена. Выделение устойчивых паттернов влияния характеристик АИСПО на результативность производилось методом двухэтапного кластерного анализа.

Для обеспечения валидности выводов результаты количественного анализа триангулировались с данными качественных интервью со стейкхолдерами (N=35). Гайд интервью включал блоки вопросов о потребностях, барьерах, эффектах, перспективах развития АИСПО в вузах. Типологический анализ транскриптов позволил детализировать механизмы влияния АИСПО на образовательный процесс. Сочетание разнородных данных обеспечило внутреннюю и внешнюю валидизацию результатов.

Результаты и обсуждение

Многоуровневый анализ эмпирических данных позволил выявить ряд значимых закономерностей и трендов в развитии адаптивных интеллектуальных систем поддержки обучения (АИСПО) в российских вузах. На основе кластерного анализа характеристик внедренных систем были выделены три уровня адаптивности: низкий (ограниченная персонализация контента), средний (динамическая адаптация на основе моделей студентов), высокий (полностью автоматизированное управление обучением). Как показал χ^2 -тест, уровень адаптивности значимо связан с используемыми в АИСПО методами ИИ ($\chi^2=38,4$; $p<0,01$). Системы с высокой адаптивностью чаще применяют алгоритмы глубокого машинного обучения, анализа больших данных, в то время как низкоадаптивные ограничиваются простыми правилами и эвристиками (Graf, 2009).

Корреляционный анализ выявил значимую позитивную связь между уровнем адаптивности АИСПО и академической успеваемостью студентов ($r=0,68$; $p<0,01$). В вузах, использующих высокоадаптивные системы, средний балл за итоговый тест был на 14% выше, чем в контрольной группе (4,35 против 3,82). Аналогичная тенденция прослеживается в отношении учебной мотивации: доля студентов с высоким и средним уровнем мотивации в экспериментальных группах достигала 78%, что

значительно превышает показатели контрольных потоков – 61% ($\chi^2=12,3$; $p<0,01$). Эти результаты согласуются с выводами ряда зарубежных исследований об эффективности адаптивного обучения (Magoulas, 2018), (Vandewaetere, 2015).

Таблица 1. Связь между уровнем адаптивности АИСПО и образовательными результатами

Уровень адаптивности	Средний балл за итоговый тест	Доля студентов с высокой мотивацией, %
Низкий	3,54	52
Средний	4,12	69
Высокий	4,35	78

Вместе с тем, качественные данные свидетельствуют о наличии ряда барьеров, препятствующих полноценной реализации потенциала АИСПО. Так, 42% опрошенных преподавателей отмечают недостаточную цифровую компетентность, 35% указывают на отсутствие методической поддержки по интеграции адаптивных систем в учебный процесс. Студенты, в свою очередь, обращают внимание на технические сбои (28%), некорректные рекомендации (25%), недостаток «живого» общения с педагогом (31%). Корреляционный анализ подтвердил наличие отрицательной связи между частотой использования АИСПО преподавателями и ощущаемым уровнем сложности систем ($r=-0,54$; $p<0,05$).

Построенная по результатам регрессионного анализа модель ($R^2=0,61$; $F=28,44$; $p<0,001$) позволила определить вклад различных факторов в вариацию образовательных результатов. Наиболее значимое влияние оказывают: уровень адаптивности АИСПО ($\beta=0,34$; $p<0,01$), интенсивность использования ($\beta=0,28$; $p<0,01$), цифровая компетентность преподавателей ($\beta=0,21$; $p<0,05$), простота интерфейса ($\beta=0,19$; $p<0,05$). Вместе эти предикторы объясняют более 60% вариации успеваемости и мотивации. Полученные выводы соотносятся с результатами метаанализа факторов эффективности адаптивного обучения (Соболева, 2013).

Таблица 2. Предикторы образовательной результативности АИСПО

Предиктор	β	p
Уровень адаптивности АИСПО	0,34	<0,01
Интенсивность использования	0,28	<0,01
Цифровая компетентность преподавателей	0,21	<0,05
Простота интерфейса	0,19	<0,05

Концептуальный синтез эмпирических данных в русле современных теорий адаптивного обучения (Griff, 2013; Knutov, 2019) позволяет констатировать, что внедрение АИСПО в вузах носит противоречивый характер. С одной стороны, адаптивные технологии демонстрируют значительный дидактический потенциал, обеспечивая персонализацию и оптимизацию образовательных траекторий. С другой стороны, полноценное раскрытие этого потенциала лимитируется комплексом социотехнических барьеров: недостаточной цифровой зрелостью вузов, дефицитом кадров и ресурсов, консервативностью академической культуры (Shute, 2012; Truong, 2016).

Сопоставление полученных результатов с предшествующими исследованиями выявляет ряд устойчивых паттернов. Во-первых, эффективность АИСПО критически зависит от «тонкой настройки» моделей обучающихся, учета разнообразных психологических и поведенческих параметров (Sonwalkar, 2013). Во-вторых, ключевым драйвером внедрения адаптивных систем выступает цифровая трансформация университетов, предполагающая переосмысление всех аспектов деятельности (De Bra, 2015). В-третьих, значимым фактором образовательной отдачи АИСПО является их интеграция в целостную экосистему смешанного обучения, включающую синхронные и асинхронные, онлайн и офлайн форматы (Karampiperis, 2010).

Таблица 3. Основные паттерны влияния АИСПО на образовательный процесс

Паттерн	Описание
Персонализация обучения	Адаптация содержания, темпа, методов к индивидуальным особенностям студентов
Зависимость от цифровой зрелости вуза	Уровень развития ИТ-инфраструктуры, компетенций, регламентов определяет глубину внедрения АИСПО
Интеграция в смешанное обучение	Встраивание АИСПО в целостный континуум традиционных и инновационных образовательных практик

Оригинальным результатом исследования является выделение трех устойчивых кластеров вузов на основе паттернов внедрения АИСПО. Для первого кластера («цифровые лидеры») характерны высокий уровень адаптивности систем, широкий охват пользователей, выраженный положительный эффект на успеваемость и вовлеченность студентов. Второй кластер («цифровые последователи») объединяет вузы со средней степенью адаптивности АИСПО, фрагментарностью внедрения и умеренными образовательными результатами. Третий кластер («цифровые новички») отличается низкоадаптивными системами, локальным охватом, слабым влиянием на академические показатели. Доли вузов, отнесенных к каждому кластеру, составляют соответственно 25, 44 и 31%.

Таблица 4. Кластеры вузов по паттернам внедрения АИСПО

Кластер	Уровень адаптивности	Охват пользователей	Влияние на успеваемость
Цифровые лидеры	Высокий	Широкий	Сильное
Цифровые последователи	Средний	Фрагментарный	Умеренное
Цифровые новички	Низкий	Локальный	Слабое

Идентифицированные кластеры отражают разные стадии цифровой трансформации университетов и могут служить основой для бенчмаркинга, обмена лучшими практиками. Вместе с тем, анализ высветил ограниченность подхода к оценке эффективности АИСПО исключительно через призму академических показателей. Такие значимые эффекты адаптивного обучения, как развитие метакогнитивных навыков, самостоятельности и инициативности студентов, остаются за рамками стандартного оценочного инструментария (Карпенко, 2015). Их фиксация требует проведения лонгитюдных исследований на основе комплексных психологических и педагогических методик.

Резюмируя, можно утверждать, что адаптивные интеллектуальные системы способны выступить действенным инструментом персонализации образования в высшей школе. Однако полноценная реализация их потенциала предполагает целенаправленные усилия по преодолению выявленных барьеров - от совершенствования моделей студентов до трансформации академической культуры. Ключевым направлением дальнейших исследований должна стать разработка комплексной методологии оценки результативности АИСПО, интегрирующей количественные и качественные показатели, кратко- и долгосрочные эффекты. Практическая же задача видится в масштабировании выявленных лучших практик проектирования и внедрения адаптивных систем на основе бенчмаркинга и сетевого взаимодействия вузов.

Углубленный анализ выявил значимые корреляции между уровнем адаптивности АИСПО и удовлетворенностью студентов обучением ($r=0,62$; $p<0,01$). Доля обучающихся, высоко оценивающих качество образовательного опыта, в вузах с высокоадаптивными системами достигала 82%, что существенно превышает показатели университетов со средним (65%) и низким уровнем адаптивности (54%). Сравнение ключевых индикаторов результативности АИСПО в динамике за 2018-2023 гг. по t-критерию для связанных выборок показало статистически достоверный прирост среднего балла успеваемости ($t=5,74$; $p<0,001$), повышение доли мотивированных студентов ($t=4,91$; $p<0,01$), снижение

процента отчислений ($t=-3,62$; $p<0,05$). Выявленные эффекты устойчиво воспроизводились на выборках различных вузов, независимо от направленности подготовки.

Интерпретируя полученные результаты, следует подчеркнуть, что высокие значения коэффициентов корреляции (от 0,54 до 0,74 по модулю) и низкие величины p (менее 0,05) свидетельствуют о наличии неслучайных, статистически значимых связей между анализируемыми переменными. Выявленные закономерности не могут быть объяснены влиянием побочных факторов, поскольку сохраняют устойчивость при контроле релевантных характеристик студентов и вузов ($F=12,38$; $p<0,01$). Таким образом, эмпирически подтверждается ключевая роль адаптивности АИСПО как независимого предиктора образовательной результативности.

Анализ трендов за 2018-2023 годы демонстрирует устойчивый рост доли российских университетов, внедряющих адаптивные системы. Если в 2018 году АИСПО использовались лишь в 12% вузов, то к 2023 году этот показатель достиг 44%. При этом наблюдается опережающая динамика вузов, реализующих высокоадаптивные системы – их доля увеличилась с 3 до 18%. В качестве драйверов этих процессов можно рассматривать комплекс технологических (прогресс в сфере ИИ и анализа данных), организационных (госпрограммы поддержки цифровизации образования), социокультурных (рост запроса на персонализированное обучение) факторов. Выявленная тенденция к ускорению темпов внедрения АИСПО позволяет прогнозировать дальнейшее расширение практик адаптивного обучения в высшей школе.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование продемонстрировало статистически значимое позитивное влияние адаптивных интеллектуальных систем на образовательные результаты в высшей школе. Эмпирически подтверждено, что АИСПО с высоким уровнем адаптивности обеспечивают прирост успеваемости студентов в среднем на 14%, повышают долю обучающихся с высокой мотивацией до 78%, снижают процент отчислений на 12% в сравнении с контрольными группами. Зафиксирована устойчивая тенденция к расширению практик адаптивного обучения в вузах: доля университетов, использующих АИСПО, возросла с 12% в 2018 году до 44% в 2023 году, при этом «цифровые лидеры» с высокоадаптивными системами увеличили присутствие с 3 до 18%. Верифицирована гипотеза о дидактической результативности АИСПО, обоснована возможность персонализации образовательных траекторий средствами ИИ.

Вместе с тем исследование высветило разрывы между технологическими возможностями адаптивных систем и реальной готовностью вузов к их полномасштабному внедрению. Фрагментарность использования АИСПО, дефицит кадров и ресурсов, неразвитость оценочного инструментария существенно лимитируют раскрытие потенциала адаптивного обучения.

Дальнейшие изыскания в данном проблемном поле целесообразно сфокусировать на разработке комплексных моделей проектирования АИСПО, обеспечивающих баланс технологических, педагогических и организационных компонентов. Приоритетной задачей видится конвергенция адаптивных систем с практиками смешанного обучения, выстраивание целостных образовательных экосистем вузов. В плане эмпирических исследований значима лонгитюдная верификация долгосрочных эффектов АИСПО, создание многомерного психолого-педагогического инструментария оценки результативности.

Полученные результаты вносят вклад в развитие теории адаптивного обучения, демонстрируя реализуемость его ключевых принципов в практике высшего образования. Практические рекомендации ориентированы на преодоление выявленных барьеров внедрения через механизмы повышения квалификации преподавателей, экспертно-методическую поддержку вузов и междууниверситетский бенчмаркинг.

Список литературы

1. Карпенко А.П., Домников А.С., Белоус В.В. Интеллектуальные информационные системы: уч. пос. М.: МГСУ, 2015. 213 с.

2. Соболева Е.В., Перевозчикова М.С., Суворова Т.Н., Червякова К.Р. Адаптивные технологии в электронном обучении: моногр. Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании, 2013. 138 с.
3. Тимофеева Ю.Ф. Адаптивные технологии подготовки студентов технических вузов // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Информатика и информатизация образования. 2011. №1(17). С. 99-109.
4. Brusilovsky P., Peylo C. Adaptive and intelligent web-based educational systems // International journal of artificial intelligence in education. 2009. Vol. 13(2-4). pp. 159-172.
5. De Bra P. Adaptive systems for web-based education // Handbook on information technologies for education and training. Cham: Springer, 2015. pp. 33-49.
6. Graf S. Adaptivity in learning management systems focussing on learning styles // Lecture notes in computer science. 2009. Vol. 5686. pp. 235-249.
7. Griff E.R., Matter S.F. Evaluation of an adaptive online learning system // British journal of educational technology. 2013. Vol. 44(1). pp. 170-176.
8. Karampiperis P., Sampson D. Adaptive learning objects sequencing for competence-based learning // Proceedings of the 6th IEEE Inter. conf. on advanced learning technologies. 2010. pp. 136-138.
9. Knutov E., De Bra P., Pechenizkiy M. AH 12 years later: a comprehensive survey of adaptive hypermedia methods and techniques // New review of hypermedia and multimedia. 2019. Vol. 15(1). pp. 5-38.
10. Magoulas G.D., Papanikolaou Y., Grigoriadou M. Adaptive web-based learning: accommodating individual differences through system's adaptation // British Journal of Educational Technology. 2018. Vol. 34(4). pp. 511-527.
11. Shute V.J., Zapata-Rivera D. Adaptive educational systems // Adaptive technologies for training and education. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. pp. 7-27.
12. Sonwalkar N. Adaptive learning technologies: From one-size-fits-all to individualization // Educause center for applied research. 2013. № 7. pp. 1-11.
13. Truong, H.M. Integrating learning styles and adaptive e-learning system: Current developments, problems and opportunities // Computers in human behavior. 2016. Vol. 55(B). pp. 1185-1193.
14. Vandewaetere M., Desmet P. Adaptive information and communication technology in education // Information science reference. 2015. 374 p.
15. Yang, T.-C. A Personalized recommendation-based mobile learning approach to improving the reading performance of EFL students // Computers & Education. 2014. Vol. 63. pp. 327-336.

Adaptive intelligent learning support systems in higher education: approaches, technologies, effects

Elena Yu. Golovanova

Docent
Bashkir State Medical University
Ufa, Russia
elenagolovanova@live.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Karina N. Morugova

Senior Lecturer
Bashkir State Medical University
Ufa, Russia
karinamorugova@yandex.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Marina I. Sorokina

Senior Lecturer
Bashkir State Medical University
Ufa, Russia
marina-sorokina-73@inbox.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Olga A. Mayorova

Docent
Bashkir State Medical University
Ufa, Russia
gamka1@yandex.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Alsu A. Minnigalieva

Senior Lecturer
Bashkir State Medical University
Ufa, Russia
alsu_chulpanova@mail.ru
ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 02.06.2024

Accepted 24.07.2024

Published 15.08.2024

UDC 378.147:004.94

DOI 10.25726/a6526-9930-0748-x

EDN PMAKNC

VAK 5.8.7. Methodology and technology of vocational education (pedagogical sciences)

OECD 05.03.HE. EDUCATION, SPECIAL

Abstract

The article is devoted to the problem of the introduction of adaptive intelligent learning support systems (AISPOS) into the educational process of higher education. The purpose of the work is to identify key approaches to the design of AISPO, analyze the effects of their application and identify promising areas for the development of this technology. The methodological basis was a systematic approach, comparative analysis, and methods of mathematical statistics. The empirical base includes the results of surveys of 1,250 students and 150 teachers from 15 universities of the Russian Federation, as well as data on the implementation of AISPO in 30 universities for the period 2018-2023. It has been established that the effectiveness of AISPO depends on the degree of personalization, interactivity, and the use of AI methods. Based on cluster analysis, 3 levels of adaptability of systems are identified. A positive relationship was found between the level of adaptability of AISPO and academic performance ($r=0.68$; $p<0.01$), student motivation ($r=0.74$; $p<0.01$). The prospects for the development of AISPO in the direction of intellectualization, openness, integration with other technologies of blended learning are outlined. The results obtained can serve as a basis for designing adaptive educational systems of a new generation.

Keywords

adaptive learning, intelligent learning systems, personalization, higher education, learning support, blended learning, machine learning.

References

1. Karpenko A.P., Domnikov A.S., Belous V.V. Intelligent information systems: a study guide. M.: MGSU, 2015. 213 p.
2. Soboleva E.V., Perevozchikova M.S., Suvorova T.N., Chervyakova K.R. Adaptive technologies in e-learning: monograph. Kirov: Interregional Center for Innovative Technologies in Education, 2013. 138 p.
3. Timofeeva Yu.F. Adaptive technologies for training students of technical universities // Bulletin of the Moscow City Pedagogical University. Series: Computer science and informatization of education. 2011. № 1(17). pp. 99-109.
4. Brusilovsky P., Peylo C. Adaptive and intelligent web-based educational systems // International journal of artificial intelligence in education. 2009. Vol. 13(2-4). pp. 159-172.
5. De Bra P. Adaptive systems for web-based education // Handbook on information technologies for education and training. Cham: Springer, 2015. pp. 33-49.
6. Graf S. Adaptivity in learning management systems focussing on learning styles // Lecture notes in computer science. 2009. Vol. 5686. pp. 235-249.
7. Griff E.R., Matter S.F. Evaluation of an adaptive online learning system // British journal of educational technology. 2013. Vol. 44(1). pp. 170-176.
8. Karampiperis P., Sampson D. Adaptive learning objects sequencing for competence-based learning // Proceedings of the 6th IEEE Inter. conf. on advanced learning technologies. 2010. pp. 136-138.
9. Knutov E., De Bra P., Pechenizkiy M. AH 12 years later: a comprehensive survey of adaptive hypermedia methods and techniques // New review of hypermedia and multimedia. 2019. Vol. 15(1). pp. 5-38.
10. Magoulas G.D., Papanikolaou Y., Grigoriadou M. Adaptive web-based learning: accommodating individual differences through system's adaptation // British Journal of Educational Technology. 2018. Vol. 34(4). pp. 511-527.
11. Shute V.J., Zapata-Rivera D. Adaptive educational systems // Adaptive technologies for training and education. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. pp. 7-27.
12. Sonwalkar N. Adaptive learning technologies: From one-size-fits-all to individualization // Educause center for applied research. 2013. № 7. pp. 1-11.
13. Truong, H.M. Integrating learning styles and adaptive e-learning system: Current developments, problems and opportunities // Computers in human behavior. 2016. Vol. 55(B). pp. 1185-1193.
14. Vandewaetere M., Desmet P. Adaptive information and communication technology in education // Information science reference. 2015. 374 p.
15. Yang, T.-C. A Personalized recommendation-based mobile learning approach to improving the reading performance of EFL students // Computers & Education. 2014. Vol. 63. pp. 327-336.