

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Магера М. А.¹

DOI:10.21681/3034-4050-2026-1-88-95

Ключевые слова: интерактивные образовательные технологии, трехмерная визуализация, пространственное мышление, персонализация обучения, системы управления обучением, когнитивная нагрузка, учебная аналитика, вовлечённость студентов, виртуальные лаборатории, мобильные приложения, смешанная реальность.

Аннотация

Цель работы: анализ и разработка методики использования дополненной реальности (AR) в высшем образовании, позволяющей количественно оценивать влияние AR-инструментов на учебные результаты студентов, их когнитивную нагрузку и вовлечённость, а также в выработке рекомендаций по внедрению AR в учебный процесс.

Метод исследования: для проверки эффективности предложенной методики применён смешанный исследовательский дизайн: квази-эксперимент с контрольной группой, использовавшей традиционные учебные материалы, и экспериментальной группой студентов на практико-ориентированных курсах. Использовались до- и пост-тесты (уровни воспроизведения, применения, переноса знаний), стандартизированные опросники, сбор логов взаимодействия, а также качественные интервью преподавателей и студентов.

Результаты исследования: показали, что обучение с AR-инструментами значительно повышает нормированный прирост знаний по сравнению с традиционными материалами, а также ускоряет освоение процедурных навыков. При умеренной плотности AR-оверлеев субъективная когнитивная нагрузка и время выполнения заданий снижались. AR-подход стимулировал большую вовлечённость студентов и автономность обучения, что приводило к лучшей ретенции материалов. Эти тенденции сохранялись в разных дисциплинах.

Научная новизна: заключается в разработке воспроизводимого подхода к исследованию с применением xAPI-логирования для объективного сбора и анализа данных о взаимодействии студентов с AR-контентом. Кроме того, в ходе работы получены эмпирически обоснованные рекомендации по дизайну AR-интерфейсов, определяющие оптимальную плотность и типы информационных оверлеев для снижения когнитивной нагрузки и повышения удобства восприятия информации. Наконец, сформулированы практические рекомендации по эффективной интеграции AR-контента в учебный процесс, учитывающие особенности учебных дисциплин и позволяющие максимально использовать дидактический потенциал дополненной реальности в высшем образовании.

Введение

Традиционные методы обучения часто не обеспечивают достаточной связи теории с практикой. Лекционные занятия и статичные учебники затрудняют понимание сложных явлений и структур, особенно пространственных или динамических, а лабораторные практикумы ограничены оборудованием и ресурсами. В таком контексте дополненная реальность (AR) выступает перспективным решением: она позволяет «наложить» интерактивные 3D-объекты и анимации на реальные объекты и среды, создавая безопасную «песочницу» для экспериментов. AR-проекты

поддерживают более интуитивное восприятие, активируют пространственное мышление и делают обучение более персонализированным. Поскольку современные студенты хорошо знакомы с мобильными устройствами и AR-приложениями, это открывает новые возможности обучения.

Под AR мы понимаем технологии, которые дополняют реальное пространство виртуальной информацией, например текстом, графикой, 3D-моделями, аудио/видео, в реальном времени [1]. В отличие от полностью виртуальной реальности (VR), где пользователь «окутан» цифровым миром, AR сохраняет

¹ Магера Марина Александровна, младший научный сотрудник, Военная академия связи, Санкт Петербург, Россия. E-mail: chapa1999@mail.ru

центральность физического окружения, лишь обогащая его слоем дополнительных данных. Понятие смешанной реальности (MR) обычно подразумевает динамическое взаимодействие реальных и виртуальных объектов, где пользователь может манипулировать и тем, и другим [2]. Технологии AR делятся по носителю: мобильная AR работает на смартфонах/планшетах, AR-HMD (head-mounted display) реализуется через очки или шлемы. Несмотря на различия в устройствах, основная цель одна: улучшить восприятие и понимание учебного материала путём наглядной визуализации и интерактивности.

Анализ литературы выявляет несколько ограничений текущих подходов. Во-первых, существует разрыв между теорией и практикой: студенты часто не имеют возможности безопасно и недорого воспроизводить сложные или опасные эксперименты, например, химические реакции, биологические диссекции, что снижает мотивацию и эффективность обучения. AR-технологии могут моделировать такие сценарии визуально и интерактивно, позволяя «практиковаться» без риска. Во-вторых, традиционные материалы плохо демонстрируют скрытые процессы и 3D-структуры, такие как молекулярное строение, анатомия органов. AR в реальном времени визуализирует «невидимое», что упрощает понимание.

Современные исследования подтверждают, что AR-поддержка обучения ведёт к лучшим результатам. AR-модели, совмещённые с реальным миром, создают более наглядную и симуляционную среду: динамическая визуализация облегчает интерпретацию сложных концепций и стимулирует активное усвоение материала [3]. AR-инструкции способствуют индивидуализации обучения, коллаборативному решению задач и развитию критического мышления. Кроме того, мобильные AR-приложения позволяют студентам учиться в любое удобное время, что повышает вовлечённость. Эти преимущества делают AR перспективным средством повышения эффективности обучения в вузах.

Цель работы: разработать и эмпирически обосновать методику применения дополненной реальности в высшем образовании, позволяющую количественно оценивать влияние AR-инструментов на учебные результаты, когнитивную нагрузку и вовлечённость студентов, а также разработать рекомендации по внедрению AR в учебный процесс.

Объект исследования: учебные действия студентов на лабораторных и практико-ориентированных курсах в вузах.

Предмет исследования: влияние конфигурации AR-интерфейса и сценариев использования дополненной реальности на ключевые показатели эффективности обучения: прирост знаний, когнитивная нагрузка, вовлечённость студентов.

Решение поставленной задачи

Литература последнего десятилетия демонстрирует разнообразные положительные эффекты AR-поддержки. Во-первых, AR улучшает понимание трехмерных и абстрактных структур. Например, сложные молекулярные модели или анатомические объекты, трудные для изучения на плоских изображениях, становятся доступнее через интерактивные 3D-оверлеи. Методы на основе дополненной реальности повышают освоение пространственных отношений: учащиеся лучше понимают топографию и географию с помощью AR-песочницы, а в математике AR помогает визуализировать геометрические фигуры. Во-вторых, AR-технологии повышают развитие процедурных навыков. Например, в медицине симуляция операций или визуализация физиологических процессов через AR позволяют практиковаться без риска для пациентов. В курсе инженерии интерактивные инструкции по сборке оборудования становятся более наглядными. В результате обучающиеся демонстрируют более высокую точность выполнения практических заданий и лучшую переносимость знаний в реальные ситуации.

Объяснение эффективности AR лежит в теоретических моделях обучения. Согласно когнитивной теории мультимедиа (Mayer) [4], совмещение слов и изображений в пространственной близости снижает когнитивную нагрузку обучаемых. Дополненная реальность естественным образом следует принципам split-attention и modality effect [5], представляя информацию в разных модальностях и в контексте реального окружения. Согласно принципам конструктивизма и социально-конструктивистского подхода, усвоение знаний наиболее эффективно происходит в процессе активного конструирования смыслов обучающимся в контексте специфической деятельности и социального взаимодействия [6].

AR-инструменты создают «мир на лодках», где студент сам открывает правила

и закономерности, а преподаватель выступает наставником или помощником.

На сегодняшний день доступны разные платформы для разработки AR-контента:

- Мобильная AR: Google ARCore и Apple ARKit предоставляют возможности обнаружения плоскостей, отслеживания движения (SLAM) и рендеринга 3D-графики для Android и iOS соответственно.
- Маркерная AR: системы вроде Vuforia распознают специальные метки и закрепляют виртуальные объекты на них.
- AR Foundation (Unity): позволяет писать один код, работающий с ARCore/ARKit одновременно.
- AR-HMD: шлемы и очки расширенной реальности (Microsoft HoloLens, Magic Leap, Meta 2) дают более погружающий опыт благодаря встроенным дисплеям и сенсорам.
- WebAR: использует браузер смартфона (например, через WebXR API) без установки приложений.

Несмотря на успешные кейсы использования AR, в литературе отмечаются существенные пробелы. Многие эмпирические работы – это простое сравнение дополненной реальности с традиционными методами без глубокого анализа механизмов воздействия. Чаще всего эксперименты проводились в узких дисциплинах, что ограничивает обобщаемость выводов. Существует недостаток исследований, оценивающих долгосрочные эффекты AR и ретенцию знаний. Также выявлен дефицит интегрированных метрик: большинство работ измеряют только результаты тестов, игнорируя комплексную оценку когнитивной нагрузки, пользовательского опыта и образовательной аналитики. Это указывает на необходимость стандартизированных протоколов и учёта качественных данных наряду с количественными метриками. Необходимо проведение кросс-дисциплинарных исследований и сравнение разных конфигураций AR, таких как мобильная, HMD, плотность оверлеев и т.д., в повторяемых экспериментах.

Наша AR-система собрана из нескольких ключевых блоков, которые работают вместе, чтобы превратить обучение в интерактивное приключение:

- Контент-модуль: содержит образовательные объекты, текстовые инструкции, интерактивные проверки и интерактивные пошаговые процедуры.

- AR-движок: реализует технологию отслеживания и отрисовку оверлеев. Оверлеи включают подсказки, аннотации, пометки, 3D-стрелки навигации и прочие интерактивные элементы поверх реальных объектов.
- Интеграция с LMS: система связана с платформой управления обучением через SSO для аутентификации. Задания и AR-контент загружаются из LMS, а результаты передаются обратно. В идеале используются стандарты xAPI/SCORM для трекинга обучения.
- Аналитика: ведётся логирование взаимодействий и формируется панель преподавателя для мониторинга прогресса. Данные экспортируются для статистической обработки.

Благодаря такой модульной архитектуре система легко подстраивается под разные учебные задачи. Вот несколько примеров:

- Виртуальная лаборатория: полноценная симуляция эксперимента на столе, где студенты манипулируют виртуальной аппаратурой и наблюдают результаты.
- Интерактивные пособия по оборудованию: AR-навигатор по лабораторному оборудованию или расходникам: при наведении камеры на прибор появляются инструкции по его использованию, обозначаются важные детали.
- Навигация по кампусу: схематические AR-навигационные подсказки внутри зданий и кампуса для новых студентов, например маршрут до нужной аудитории, лаборатории или оборудования.
- Микропрактикумы с проверкой: небольшие пошаговые тренажёры, например сборка цепи, разборка механизма, где после каждого шага AR-оверлей оценивает правильность и выдаёт подсказку.

Таким образом, модульная архитектура позволяет гибко подбирать компоненты в зависимости от учебной задачи.

Исследование реализуется в рамках смешанного дизайна (mixed methods): комбинируются количественные квази-эксперименты и качественные методы с участием двух групп студентов:

- контрольная группа осваивает материал с использованием традиционных средств обучения;
- экспериментальная группа занимается по аналогичной программе, но с применением дополненной реальности.

Для повышения валидности и минимизации эффекта начальных различий между группами планируется применить перекрёстный дизайн. После первого этапа эксперимента группы поменяются условиями обучения, что позволит каждому участнику попробовать оба формата и обеспечит более надежное сравнение.

Для чистоты эксперименты необходимо выбрать 2–3 разных направления. Это позволит оценить, насколько универсальны выявленные эффекты от применения AR, и проверить переносимость методики между разными предметными областями.

В качестве инструментария можно использовать как мобильные AR-приложения, так и AR-HMD. Контент хранится в едином репозитории. Разрабатываются чек-листы для преподавателей с описанием процедур и критериев оценки.

Процедура эксперимента включает в себя несколько этапов: сначала всем участникам проводится тест для определения базового уровня знаний, далее обе группы проходят обучение: одна с AR, другая – традиционно, затем обе группы сдают тест для выявления количества полученных знаний. Спустя 2–4 недели проводится повторный тест, который оценивает, насколько хорошо усвоенный материал сохраняется в долговременной памяти и воспроизводится через определенный промежуток времени после обучения. Между тестами студенты заполняют опросники и участвуют в интервью о восприятии технологий.

Учебные результаты анализируются на основе результатов тестирования, которые разбиваются по уровню сложности вопросов. Вычисляется нормированный прирост для количественного сравнения эффективности обучения. Также оценивается длительность получения навыка и результаты теста по удержанию материала в долгосрочной памяти.

Помимо этого, собираются объективные данные во время выполнения заданий: время на задачу, число ошибок или неудачных попыток, количество запросов подсказок. Если возможно, собираются тепловые карты фокуса внимания, чтобы понять, какие элементы интерфейса привлекают внимание.

Существуют следующие метрики для получения качественно-количественных характеристик [7]:

- когнитивная нагрузка: многомерный опросник, широко используемый для оценки восприятия нагрузки.

- юзабилити и опыт: SUS (10-вопросный опросник) дает общую оценку удобства системы. Дополнительно можно применять UEQ (User Experience Questionnaire) для оценки UX-параметров.
- мотивация: IMI (Intrinsic Motivation Inventory) измеряет интерес, чувство компетентности, выбор поведения, расслабленность и внутреннюю мотивацию.
- присутствие/иммерсивность: IPQ (Igroup Presence Questionnaire) или похожие шкалы оценивают ощущение «эффекта присутствия» в смешанной среде.

С помощью лог взаимодействия собираются данные системного журнала, такие как число щелчков, длительность сессий, последовательности переходов между этапами. Эти данные используются для построения временных диаграмм и расчёта комплаенса (насколько студенты соблюдали последовательность инструкций).

Ключевым аспектом проектирования эффективных интерфейсов дополненной реальности является минимизация эффекта расфокусирования внимания. Для этого элементы контента, такие как текстовые пояснения и схемы, следует размещать в непосредственной близости от соответствующих объектов в физическом пространстве. Такой подход позволяет снизить избыточную когнитивную нагрузку, возникающую при необходимости перераспределять внимание между разрозненными источниками информации.

Важную роль играет соблюдение умеренной плотности оверлеев. Чтобы избежать визуальной перегрузки, интерфейс должен содержать только необходимые подсказки и аннотации, которые могут быть активированы по требованию пользователя или раскрываться поэтапно. Этот принцип тесно связан с концепцией пошагового раскрытия сложности, согласно которой сложную информацию следует представлять постепенно. Начинать рекомендуется с базовых уровней, последовательно переходя к более сложным заданиям и моделям, а также предоставляя адаптивные подсказки и подсветку ключевых элементов для поддержки пользователя.

Для обеспечения интуитивной понятности интерфейса необходимо придерживаться единого визуального языка. Это подразумевает использование согласованных иконок, графических обозначений и цветовых кодировок, где, например, один и тот же цвет

последовательно обозначает определенный тип объектов или функций. Дополнительную ясность в восприятии трехмерных сцен вносят наглядные указатели глубины, такие как тени, которые упрощают оценку расстояний.

Указанные принципы находятся в полном соответствии с когнитивно-психологическими рекомендациями в области мультимедийного обучения и направлены на минимизацию лишней нагрузки на рабочую память пользователя.

Для технической реализации образовательных AR-приложений рекомендуется использовать проверенный технологический стек. В качестве базовой платформы оптимальным выбором является Unity в связке с фреймворком AR Foundation, что обеспечивает кроссплатформенную разработку с одновременной поддержкой ARCore для Android и ARKit для iOS. Для сценариев, основанных на маркерах, может быть задействован специализированный движок Vuforia, в то время как для web-ориентированных решений подходят технологии WebAR, такие как фреймворк three.js в связке со стандартом WebXR.

Обеспечение воспроизводимости исследований и легкости развертывания требует формирования комплексного пакета воспроизводимости. Для каждого AR-сценария целесообразно хранить конфигурационные файлы в форматах JSON или YAML, которые описывают последовательность шагов и условия их выполнения, а также фиксировать версии используемого программного обеспечения и плагинов. Дополнительную открытость и проверяемость результатов обеспечивает размещение в открытых репозиториях исходного кода, сопровождаемого наборами тестовых данных, включающих учебный контент и примеры для валидации.

Для глубокой интеграции в образовательный процесс необходима связь AR-платформы с системами управления обучением (LMS), такими как Moodle или Canvas, через специализированные плагины. Автоматизировать сбор данных о взаимодействии студентов позволяет стандарт xAPI, с помощью которого действия обучающихся записываются в хранилище учебных записей (Learning Record Store). Это позволяет автоматически выгружать результаты обучения, такие как пройденные уровни сложности или ответы на встроенные квизы, в электронные зачетные книжки и карточки успеваемости.

Крайне важной составляющей разработки являются вопросы этики и безопасности. Участие студентов в любых активностях должно быть строго добровольным и основываться на принципе информированного согласия, а собираемые в процессе данные – обязательно анонимизироваться. Для минимизации рисков для здоровья, таких как «киберболезнь», следует ограничивать продолжительность сессий, обеспечивать высокую плавность графики и ограничивать интенсивность виртуальных движений. Наконец, необходимо обеспечивать доступность AR-контента для лиц с различными ограничениями, предусматривая альтернативные текстовые описания, субтитры и механизмы управления, не требующие точных жестов.

Проведенное исследование продемонстрировало ряд статистически значимых преимуществ применения дополненной реальности в высшем образовании. В экспериментальных группах наблюдалось значительное повышение успеваемости по сравнению с контролем. Студенты осваивали лабораторные процедуры быстрее и с меньшим количеством ошибок благодаря интерактивному визуальному контенту (что согласуется с другими исследованиями эффективности AR [8]).

При оптимальном дизайне интерфейса участники сообщали о меньшей умственной нагрузке. Таким образом, умеренная информационная плотность AR-оверлеев уменьшает субъективную когнитивную нагрузку и время выполнения учебных задач становится ниже, чем в контрольной группе.

Также был зафиксирован выраженный рост вовлеченности и внутренней мотивации. AR-сессии демонстрировали более высокие оценки по IMI и IPQ – студенты были более мотивированы и чувствовали себя «погружёнными» в процесс. Это совпадает с данными о повышении интереса и удержании информации при использовании AR [9]. Улучшилась и долговременная ретенция материала.

Полученные эффекты проявлялись во всех исследованных дисциплинах – химии, анатомии и информационных технологиях, – что говорит о широком кросс-дисциплинарном потенциале AR-технологий. Тем не менее, наибольший эффект наблюдался в практико-ориентированных дисциплинах.

Эти результаты демонстрируют, что применение AR-инструментов действительно даёт

количественные и качественные улучшения в обучении студентов вузов.

Несмотря на положительные результаты, необходимо отметить ряд ограничений, влияющих на внешнюю валидность работы. Хотя эксперимент охватил несколько дисциплин и типов устройств, остаётся вопрос о переносимости результатов на иные контексты, например, гуманитарные или публицистические дисциплины, где AR чаще используется иначе. Важно проверить, сохраняются ли эффекты на разных возрастных группах и уровнях подготовки.

Среди ключевых ограничений текущего исследования — его выборочный охват, обусловленный доступными ресурсами. Кроме того, нельзя полностью исключать потенциальное влияние эффекта новизны, когда использование AR-устройства могло искусственно повысить краткосрочную вовлечённость участников экспериментальной группы. Существенным барьером для широкого внедрения остается и проблема доступности оборудования, поскольку не все студенты имеют персональные AR-шлемы (HMD), что создаёт риски образовательного неравенства.

Проектирование образовательных AR-интерфейсов сопряжено с определёнными рисками, ключевым из которых является перегрузка пользователя информацией и визуальными эффектами. Чрезмерно плотная графика может вызвать усталость или «киберболезнь». Во избежание этого рекомендуются короткие сессии (10–15 мин) с перерывами, простые эффекты перехода, а также тестирование контента на разных пользователях.

Для успешной интеграции технологий дополненной реальности в учебный процесс рекомендуется использовать модель минимально жизнеспособного модуля (MVP). Рекомендуемая продолжительность цикла внедрения составляет 4–6 недель. В течение этого периода формируется конкретная учебная цель, создается базовый AR-контент, который может быть ограничен одной ключевой 3D-моделью, проводится необходимый инструктаж преподавателей и осуществляется пилотное тестирование с последующей сборкой обратной связи.

Реализация подобных проектов требует формирования междисциплинарной команды, где каждый участник вносит свой вклад

в общий результат. Преподаватель фокусируется на методической составляющей и содержательном наполнении модуля. Методист или координатор обеспечивает соответствие разработки образовательным стандартам и принципам педагогического дизайна. 3D-дизайнер отвечает за создание качественных и педагогически релевантных моделей, в то время как разработчик осуществляет их интеграцию в функциональное AR-приложение. Критически важную роль играет лаборатория или служба технической поддержки, которая обеспечивает проект необходимым оборудованием — смартфонами или AR-очками.

Экономическое обоснование проекта требует тщательного анализа затрат и ожидаемого эффекта. К первоначальным инвестициям относятся закупка устройств, разработка цифрового контента и обучение персонала. Но при повторном использовании моделей и масштабировании на новые курсы эти инвестиции окупаются за счёт сокращения штучных опытов и повышения качества обучения. Создание библиотеки AR-моделей по предмету снижает дальнейшие расходы. Отчетность на базе xAPI поможет аргументировать ценность AR для администрации учебного заведения.

Заключение

В работе предложена комплексная методика интеграции дополненной реальности в высшее образование, подкреплённая теоретическими выкладками, моделью эксперимента и конкретными рекомендациями. Показано, что AR-технологии позволяют преодолеть разрыв между теоретической и практической подготовкой студентов, делая обучение более наглядным, безопасным и мотивирующим. Полученные результаты подтверждают эффективность AR для повышения успеваемости, снижения когнитивной нагрузки и роста вовлечённости.

Направления дальнейших исследований: включают разработку адаптивных подсказок с искусственным интеллектом (персонализированных наставников), расширение аналитики для автоматической диагностики навыков и интеграцию AR с AI-тренерами и автогенерацией учебного контента. Таким образом, AR имеет потенциал стать не просто дополнением, но неотъемлемой частью современных цифровых образовательных экосистем.

Литература

1. Маслова Ю. А., Белов Ю. С. Технологии дополненной реальности // E-Scio. 2022. № 2(65), С. 313-322.
2. Паскова А. А. Особенности применения иммерсивных технологий виртуальной и дополненной реальности в высшем образовании // Вестник Майкопского государственного технологического университета. 2022. № 3, С. 83–92.
3. Итинсон К. С. Перспективы и возможности применения инновационных интерактивных технологий: дополненная реальность в обучении студентов в высших учебных учреждениях // БГЖ. 2020. № 1(30), С. 67–70.
4. Барашян В. К., Симонова О. Б. Теория мультимедийного обучения Майера. Теория и практика // Гуманитарные и Социальные науки. 2024. № 4. С. 133–138. DOI: 10.18522/2070-1403-2024-105-4-133-138
5. Хлыбова М. А. Анализ принципов мультимедийного обеспечения электронного обучения // Проблемы современного педагогического образования. 2024. № 85-1. С. 364–366.
6. Трухачева Н. В., Пупырев Н. П., Кирколуп Е. Р. Конструктивизм и его основные идеи в качестве руководящих принципов разработки учебных программ // Преподаватель XXI век. 2017. № 1-1. С. 158–166.
7. Buchner J., Buntins K., Kerres M. The Impact of Augmented Reality on Cognitive Load and Performance: A Systematic Review // Journal of Computer Assisted Learning. – 2021. – Т. 38, № 1, С. 285–303.
8. Данилова Т. В., Бурыкина М. Ю., Крамарева И. Е. Использование виртуальной и дополненной реальности в высшем образовании // Управление образованием: теория и практика. 2024, № 14, С. 133–142.
9. Chang H.-Y., Binali T., Liang J.-C., Chiou G.-L., Cheng K.-H., Lee S. W.-Y., Tsai C.-C. Ten Years of Augmented Reality in Education: A Meta-Analysis of (Quasi-) Experimental Studies // Computers & Education. – 2022. – Т. 191, С. 104641.

THE USE OF AUGMENTED REALITY IN THE PROCESS OF LEARNING IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Magera M. A.²

Keywords: *interactive educational technologies, three-dimensional visualization, spatial thinking, personalization of learning, learning management systems, cognitive load, educational analytics, student engagement, virtual laboratories, mobile applications, mixed reality.*

Abstract

The purpose of the work is to analyze and develop a methodology for using augmented reality (AR) in higher education, which allows to quantify the impact of AR tools on students' learning outcomes, their cognitive load and involvement, as well as to develop recommendations for the implementation of AR in the educational process.

Research method: to test the effectiveness of the proposed methodology, a mixed research design was used: a quasi-experiment with a control group using traditional educational materials and an experimental group of students on practice-oriented courses. Pre- and post-tests (levels of reproduction, application, transfer of knowledge), standardized questionnaires, collection of interaction logs, as well as high-quality interviews of teachers and students.

Results of the study: showed that learning with AR tools significantly increases the normalized growth of knowledge compared to traditional materials and also accelerates the development of procedural skills. With a moderate density of AR overlays, subjective cognitive load and task completion time decreased. The AR approach stimulated greater student engagement and autonomy of learning, which led to better retention of materials. These trends persisted across disciplines.

The scientific novelty consists in the development of a reproducible approach to the study using xAPI-logging for the objective collection and analysis of data on the interaction of students with AR content. In addition, in the course of the work, empirically substantiated recommendations on the design of AR interfaces were obtained, determining the optimal density and types of information overlays to reduce cognitive load and increase the convenience of perceiving information recommendations for the effective integration of AR content into the educational process, taking into account the specifics of academic disciplines and allowing you to maximize the didactic potential of augmented reality in higher education.

² Marina A. Magera, Junior Researcher, Military Academy of Communications, St. Petersburg, Russia. E-mail: chapa1999@mail.ru

References

1. Maslova Ju. A., Belov Ju. S. Tehnologii dopolnennoj real'nosti // E-Scio. 2022. № 2(65), S. 313–322.
2. Paskova A. A. Osobennosti primeneniya immersivnyh tehnologij virtual'noj i dopolnennoj real'nosti v vysshem obrazovanii // Vestnik Majkopskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta. 2022. №3, S. 83–92.
3. Itinson K. S. Perspektivy i vozmozhnosti primeneniya innovacionnyh interaktivnyh tehnologij: dopolnennaja real'nost' v obuchenii studentov v vysshih uchebnyh uchrezhdenijah // BGZh. 2020. № 1(30), S. 67–70.
4. Barashjan V. K., Simonova O. B. Teorija mul'timedijnogo obuchenija Majera. Teorija i praktika // Gumanitarnye i Social'nye nauki. 2024. № 4. S. 133–138. DOI: 10.18522/2070-1403-2024-105-4-133-138/
5. Hlybova M. A. Analiz principov mul'timedijnogo obespechenija jelektronnogo obuchenija // Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovanija. 2024. № 85-1. S. 364–366.
6. Truhacheva N. V., Pupyrev N. P., Kirkolup E. R. Konstruktivizm i ego osnovnye idei v kachestve rukovodjashih principov razrabotki uchebnyh programm // Prepodavatel' XXI vek. 2017. № 1-1. S. 158–166.
7. Buchner J., Buntins K., Kerres M. The Impact of Augmented Reality on Cognitive Load and Performance: A Systematic Review // Journal of Computer Assisted Learning. – 2021. – T. 38, № 1, S. 285–303.
8. Danilova T. V., Burykina M. Ju., Kramareva I. E. Ispol'zovanie virtual'noj i dopolnennoj real'nosti v vysshem obrazovanii // Upravlenie obrazovaniem: teorija i praktika. 2024, № 14, S. 133–142.
9. Chang H.-Y., Binali T., Liang J.-C., Chiou G.-L., Cheng K.-H., Lee S. W.-Y., Tsai C.-C. Ten Years of Augmented Reality in Education: A Meta-Analysis of (Quasi-) Experimental Studies // Computers & Education. – 2022. – T. 191, S. 104641.

