

УДК 004.946

DOI: 10.26467/2079-0619-2025-28-3-25-35

Технологии расширенной реальности в высшем образовании

А.Л. Горбунов¹

¹*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия*

Аннотация: В последние несколько лет тематика расширенной (то есть виртуальной или дополненной) реальности в образовании приобрела такую популярность среди исследователей, что создает проблемы при подготовке обзоров работ по направлению: поиск только по базам Scopus и Web of Science дает несколько тысяч результатов, и это очевидно свидетельствует об актуальности и очень высокой востребованности данного инструментария. Однако большинство публикаций посвящено пилотным экспериментам по применению технологий расширенной реальности в образовании, они не затрагивают регулярную учебную практику (исключение – курсы для студентов IT-специальностей) и не используют проверенные методы для количественной оценки результатов исследований. Настоящая статья призвана заполнить указанные пробелы. Описывается использование в течение четырех лет (2021–2024) специально разработанного приложения дополненной реальности на практических занятиях при обучении студентов авиационного университета со специализацией на управлении воздушным движением. Это первый подобный опыт в вузах России. Для объективной количественной оценки этой работы применялся тест NASA-TLX, ставший де-факто стандартом авиакосмической индустрии при оценивании использования новых технологий и получивший широкое распространение в иных отраслях. Многолетнее применение и проверенный инструмент оценки позволяют предполагать, что полученные результаты и основанные на них рекомендации могут служить надежной основой для планирования дальнейших исследований и практического внедрения настоящих технологий в высшем образовании.

Ключевые слова: расширенная реальность, высшее образование.

Для цитирования: Горбунов А.Л. Технологии расширенной реальности в высшем образовании // Научный вестник МГТУ ГА. 2025. Т. 28, № 3. С. 25–35. DOI: 10.26467/2079-0619-2025-28-3-25-35

Extended reality technologies in higher education

A.L. Gorbunov¹

¹*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russia*

Abstract: In the last few years, the topic of extended (i.e. virtual or augmented) reality in education has become so popular among researchers that it creates problems when preparing reviews of papers on the topic: a search of Scopus and Web of Science databases alone yields to several thousand results, which obviously indicates the relevance and very high demand for this tool. However, the majority of publications are dedicated to pilot studies exploring the integration of extended reality technologies in educational settings. They either do not address or only peripherally touch upon conventional educational practices, with the exception of IT-related courses. Additionally, there is a dearth of studies utilizing established methodologies for the quantitative evaluation of research outcomes. This paper aims to fill these gaps. It describes the use of a specially developed augmented reality application in practical classes for four years (2021–2024) in the training of aviation university students majoring in air traffic control. The NASA-TLX test, which has become the de facto aerospace industry standard for evaluating the usage of new technologies and is widely adopted in other industries, was employed to objectively quantify this work. The long-term application and the validated assessment tool suggest that the findings and recommendations based on them can serve as a sound basis for planning further research and practical implementation of these technologies in higher education.

Key words: aviation, higher education, extended reality.

For citation: Gorbunov, A.L. (2025). Extended reality technologies in higher education. Civil Aviation High Technologies, vol. 28, no. 3, pp. 25–35. DOI: 10.26467/2079-0619-2025-28-3-25-35

Введение

В последние несколько лет тематика расширенной реальности (extended reality, XR), то есть технологий виртуальной (virtual reality, VR) и дополненной (augmented reality, AR) реальности, в образовании стала столь популярной среди исследователей, что создает серьезные проблемы при подготовке обзоров работ по направлению: поиск только по базам Scopus и Web of Science дает тысячи результатов, и это очевидно свидетельствует об острой актуальности и очень высокой востребованности данного инструментария. Однако большинство публикаций посвящено пилотным экспериментам по применению технологий расширенной реальности в образовании, они не затрагивают совсем или очень слабо, ознакомительно затрагивают регулярную учебную практику (исключение – курсы VR/AR для студентов IT-специальностей) и не используют проверенные методы для количественной оценки результатов исследований.

Кроме того, новизна технологий и, соответственно, неустоявшаяся терминология часто приводят к понятийной контаминации, влекущей неясности в описаниях исследований. Действительно, если относительно определения VR существует более или менее широкий консенсус, то в контексте AR встречаются понятия «смешанная реальность», «измененная реальность», «обогащенная реальность», «комбинированная реальность», «расширенная реальность» и подобные, каждое со своим, часто весьма субъективным определением. Мы будем придерживаться следующей, начавшей превалировать в последнее время таксономии: XR – зонтичный термин, включающий таксоны VR, AR плюс различные комбинации первого и второго; VR – технология, подразумевающая полную аудио- и визуальную изоляцию пользователя от реального мира, он становится элементом абсолютно искусственной, сгенерированной компьютером среды; AR означает равноправное сосуществование в одном пространстве объектов реального мира и виртуальных, созданных компьютером объектов.

Настоящая статья призвана заполнить указанные пробелы. Описывается регулярное использование в течение четырех лет (2021–2024)

специально разработанного AR-приложения на практических занятиях при обучении студентов авиационного вуза со специализацией на управлении воздушным движением. *К студентам не предъявлялись требования по наличию каких-либо специальных знаний или навыков в сфере IT.* Это первый опыт такого рода и масштаба в университетах России. Для объективной количественной оценки этой работы применялся тест NASA-TLX, ставший де-факто стандартом авиакосмической индустрии при оценивании использования новых технологий и получивший широкое распространение в других отраслях, что обеспечивает сопоставимость полученных результатов с иными исследованиями.

Показана необходимость изменения текущей модели применения студентами вузов XR-приложений. Нынешняя распространенная практика подразумевает либо овладение инструментарием создания XR-продуктов при подготовке IT-специалистов, либо общее ознакомление с такими продуктами для прочих студентов. В ситуации вполне обозримого будущего, когда смарт-очки AR придут на смену смартфонам (о чем говорят все лидеры IT-отрасли), использование AR и VR станет повсеместным фоном, поэтому целесообразен переход к задействованию специальных приложений, симулирующих перспективное использование XR в работе после завершения высшего образования.

Основными результатами настоящей статьи являются:

- современная методология использования технологий XR в высшем техническом образовании вне сферы IT;
- надежные количественные оценки результатов такого использования;
- основанные на этих оценках рекомендации по применению XR в высшем образовании.

Обзор работ

Затруднения при подготовке обзора работ по тематике XR в образовании обусловлены взрывным ростом их числа в последние годы, и самые строгие критерии фильтрации не слишком улучшают ситуацию. Поэтому об-

ратимся к обзорным статьям по данному направлению (количество которых также велико и уже исчисляется десятками), ограничившись публикациями, которые: а) касаются университетского образования; б) опубликованы в журналах, индексируемых самыми представительными наукометрическими базами. Цель обзора – проверка утверждения о том, что регулярное применение XR-продуктов вне сектора IT-образования пока не попало в поле зрения исследователей.

[1] – представлен опыт 10-летнего преподавания курса по технологиям VR/AR для аспирантов, дано сравнение с аналогичными курсами в четырех других университетах. Специфика курса предполагает владение обучающимися навыками программирования и работы с пакетами 3D-графики, что сильно сужает возможности распространения данного опыта.

[2] – обзор обзоров (65 источников с 2020 года) по XR в кластере STEM (science, technology, engineering, and mathematics). Достоинства: выполнен согласно известным рекомендациям PRISMA, после фильтрации для углубленного анализа отобраны 17 статей из 6 представительных баз научных публикаций – IEEE Xplore, ACM Digital Library, Compendex, ERIC, Education Source, и Web of Science, покрывающие в том числе и сферу университетского образования. Недостатки: терминологические странности с определениями AR и VR, отсюда неоднозначные рекомендации; исключение из рассмотрения статей не на английском языке. Общий вывод: XR потенциально может трансформировать STEM-образование, предоставляя студентам интерактивный и увлекательный опыт обучения на разных образовательных уровнях.

[3] – 105 источников с 1999 года. Подробно проанализированы 52 статьи из шести баз данных – Web of Science, Scopus, IEEE Xplore, ERIC, ScienceDirect, and ACM Digital Library – по тематике использования XR при подготовке преподавателей. Приведены результаты SWOT-анализа педагогического образования на основе XR, среди которых можно выделить: сильные стороны – устраняет разрыв между теорией и практикой; слабые стороны – неясный процесс получения знаний; возможности – максимизирует эффект присутствия и активность; угрозы – высокая стоимость.

[4] – 150 источников с 2015 года. Обзор публикаций по влиянию использования XR и соответствующей учебной аналитики на различные категории учащихся и преподавателей в разных образовательных системах, включая высшее образование. Отбор статей из баз Google Scholar, Scopus и IEEE Xplore с фильтрацией по рекомендациям PRISMA. Результаты исследования показывают, что повышение мотивации и внимания, улучшение понимания и успеваемости учащихся являются наиболее значимыми факторами, влияющими на все типы учащихся. В отношении преподавателей обнаружено, что технологии XR заметно помогают в преподавании и профессиональной подготовке, снижают нагрузку. Выяснено, что высшее образование и дополненная реальность были доминирующими образовательной системой и типом технологии в проанализированных работах. Большинство исследователей предпочитают использовать анкеты и онлайн-опросы для сбора данных.

[5] – 191 источник с 2015 года. Отбор статей из баз Scopus и Web of Science с фильтрацией по рекомендациям PRISMA по тематике использования XR-технологий в метавселенных с образовательными целями. Особо отмечен потенциал AR-технологий для образовательных платформ в авиационной и космической отраслях.

[6] – 73 источника с 2020 года. Отбор статей из баз Scopus и Web of Science с фильтрацией по рекомендациям PRISMA-S по тематике использования XR-технологий для учебных целей в высшей школе (преимущественно кластер STEM) в метавселенных. Помимо достаточного стандартных выводов относительно повышения эффективности университетского образования посредством XR-технологий указывается на возможности, которые XR открывает для дистанционного обучения.

[7] – 77 источников с 2017 года, результат фильтрации первичного массива из 1 536 статей, полученного из базы Scopus. Результаты показывают, что внедрение XR-технологий в образование в последние годы растет экспоненциально, причем носимые устройства внесли значительный вклад в это развитие. Выявлен недостаток надлежащих критериев оценки исследований в области дополненной и виртуальной реальности в образовании.

[8] – 52 источника с 2017 по 2021 год. Отбор публикаций по тематике XR в высшем образовании из ряда баз, включая IEEE Xplore, ProQuest и Scopus. После фильтрации в соответствии с рекомендациями PRISMA подробно освещены 12 исследований, большей частью с применением AR-смарточков Microsoft HoloLens. Исследования показывают, что дополненная реальность обладает потенциалом для улучшения процесса обучения в университетах, прежде всего в медицинских и из кластера STEM.

[9] – 36 источников с 1997 года. Используются рекомендации PRISMA для отбора публикаций по XR + AI в высшем образовании. Делается вывод, что дополненная реальность в высшем образовании обладает многообещающим потенциалом для улучшения преподавания и обучения, но ее успешное внедрение требует тщательного рассмотрения педагогических аспектов, доступности и преодоления технологических барьеров.

[10] – проанализировано 92 источника (отбор PRISMA) из 12 журналов по образовательным технологиям с 2009 по 2020 год по тематике AR в образовании. Акцент сделан на сравнительных исследованиях, показано, что 80 % из них имеют проблемные методологические моменты. Принимая в качестве аксиомы тезис об общей эффективности AR в образовании, авторы обсуждают вопросы о том, где и как эффективно использовать образовательные AR-инструменты.

[11] – 73 работы по тематике AR в образовании (в основном университетском) отобраны из баз Science Direct, Scopus, Google Scholar, Web of Science, MDPI, PubMed, IEEEExplore и ACM Digital Library по протоколу PRISMA. Показано, что почти в двух третях (61,90 %) статей используются специально разработанные анкеты в качестве оценочных инструментов. SUS был наиболее широко используемым из известных инструментов ($n = 7$; 11,11 %), за ним следовали IMMS ($n = 4$; 6,35 %) и QUIZ ($n = 3$; 4,76 %). TUES, AM, So ASSES, QLIS, PEURA-E, NASA-TLX, OAPM, IMI, HARUS и CLS были использованы в одном исследовании каждый (пример использования NASA-TLX – [12]). Таким образом, большинство исследователей

оценивали эффективность образовательных AR-приложений субъективно, используя специально разработанные ненадежные инструменты, что делает результаты несопоставимыми. Кроме того, ограниченное число участников и короткая продолжительность пилотного тестирования препятствуют обобщению полученных результатов.

Рассмотрим две характерные работы по пилотным экспериментам для XR в высшем образовании. Авторы статьи [13] описывают исследование влияния применения студентами вузов инструментария AR на их оценку собственной способности освоить учебный материал. Доказано, что AR повышает такую оценку. При этом ни учебная среда, ни специфика решаемых задач не влияют на стремление использовать AR. В статье [14] исследуется, как ролевые игры в XR влияют на самостоятельную работу студентов в вузах. Использован подход с качественными оценками. Полученные результаты свидетельствуют о том, что включение XR в практику высшего образования положительно влияет на самообучение, способствуя активному вовлечению студентов и получению содержательного опыта обучения. Кроме того, студенты воспринимают эти методы обучения с погружением как средство преодоления разрыва между виртуальной и реальной средой обучения, что в конечном итоге приводит к повышению эффективности обучения.

В заключение приведем несколько последних работ, соответствующих поисковому запросу «XR + university» и датированных 2025 годом. В посвященной высшему авиационному образованию статье [15] приводится опыт эксперимента по модернизации учебной программы для отражения новейшей практики применения XR в техническом обслуживании воздушных судов. Статья [16] посвящена использованию XR-технологий в университетских (преимущественно) библиотеках. Отмечается, что инструменты XR кардинально облегчают такие процедуры, как проверка наличия книг на полках, инвентаризация и поиск утерянных единиц хранения, способствуют расширению поисковых возможностей читателей, однако недостаток опыта персонала библиотек и финансовых

ресурсов обуславливает нынешнее «лабораторное» состояние вопроса. Обзор [17] позволяет составить представление об использовании XR в университетском изучении иностранных языков. Результатом анализа авторами экспериментальной активности в этом секторе стало выделение шести типов активностей, подходящих для применения технологий XR, и формулирование рекомендаций, наиболее существенная из которых – переход от устаревающих VR-инструментов к AR.

Отсутствие в рассмотренном массиве публикаций работ по регулярному использованию XR в практике высшего образования вне IT-сферы вполне объяснимо новизной данного инструментария. Тем более интересным представляется описанный ниже реальный опыт такого использования, осуществленного с учетом информации публикаций о выполнении пилотных экспериментов.

Метод

С 2021 по 2024 год практические занятия по дисциплине «Инновационные технологии в управлении воздушным движением (УВД)» в Московском государственном техническом университете гражданской авиации выполнялись студентами с помощью специального AR-приложения OKO Labs для мобильных устройств (iOS и Android), разработанного ООО «Авиареал». Цель занятий – ознакомление с современными методами наблюдения воздушной обстановки, которые адекватны ситуации массового появления беспилотных летательных аппаратов в воздушном пространстве. По окончании каждого занятия студенты оценивали свою учебную работу посредством теста NASA-TLX, представленного автоматизированной компьютерной версией. Полуторачасовые занятия проводились еженедельно в течение весеннего семестра с февраля по май, при этом выполнялись шесть различных упражнений, в выполнении каждого участвовали от 56 до 65 студентов.

AR-приложение OKO Labs (которое студенты устанавливают на свои смартфоны или планшетные компьютеры) отображает виртуальный воздушный трафик, симулирующий движение воздушных судов (ВС) в объединенных секторах Запад-1 и Запад-2 Московской

зоны УВД на фоне картинки камеры мобильного устройства, наблюдающей специальные маркеры для позиционирования виртуальных объектов. Часть виртуальных ВС оказывается в ситуации опасного сближения (самая частая нештатная ситуация в аэронавигационной практике) как при движении на одном эшелоне на пересекающихся, встречных и догоняющих курсах, так и при переходе с одного эшелона на другой. Опасным считается сближение воздушных судов на расстояние менее 10 км по горизонтали и менее 300 м по вертикали. OKO Labs позиционирует виртуальные объекты с помощью специальных графических маркеров с поддержкой SLAM (технология автономного позиционирования), если это позволяет модель мобильного устройства.

Наблюдение за воздушным движением производится в режиме AR внутри беспроводной локальной сети с одновременным отображением виртуальной воздушной обстановки на экранах мобильных устройств всех пользователей системы. Задача пользователя – своевременно обнаружить угрозы опасного сближения ВС и просигнализировать об этом. Работа выполняется всеми студентами одновременно в едином пространстве AR (рис. 1) и в соревновательном режиме: студенты пытаются как можно раньше определить возникновение угрозы опасного сближения ВС, всякий раз при регистрации угрозы любым из студентов (рис. 2) информация об этом появляется на экранах устройств других студентов. Своевременные сигналы об угрозах опасного сближения вознаграждаются призовыми баллами (зависят от времени от подачи сигнала до момента наступления сближения и от очередности фиксации угрозы), незамеченные угрозы и ложные тревоги штрафуются.

Происходящее контролируется преподавателем на компьютере с серверной частью приложения. В начале занятия преподаватель с сервера через беспроводную сеть загружает в клиентские части приложения очередное упражнение, отличающееся типами опасных сближений ВС. По завершении упражнения преподаватель выводит информацию о набранных студентами баллах на экран проектора в учебной аудитории. Баллы засчитывались после того, как студент присылал свои результаты теста NASA-TLX [18].

Основное преимущество наблюдения авиатрафика в пространстве AR – возможность рас-



Рис. 1. Работа студентов на практическом занятии в режиме дополненной реальности
Fig. 1. A practical lesson in augmented reality mode

смаатривать происходящее с любой точки в пространстве и в любом масштабе, перемещая мобильное устройство, что значительно повышает вероятность заблаговременного обнаружения возникновения ситуации опасного сближения ВС. При этом студент может:

- наблюдать ВС в любых ракурсах и их информационные баннеры (номер рейса и высота в эшелонах), метки навигационных точек;
- выбирать ВС для получения формуляра с дополнительной информацией и отображения его плана полета (воздушного коридора из красных рамок на рис. 2) – кликнуть баннер ВС;
- выбирать несколько ВС и сбросить выбор (кликнуть любую точку на экране вне баннеров);
- пользоваться кнопками сервисного меню в нижней части экрана (рис. 2): синяя слева – вызов панели управления, красная по середине – сообщение об опасном сближении, серая справа – режим прозрачности подстилающей поверхности для виртуальной сцены.

Каждое упражнение студенты выполняли 2 раза с интервалом 1 неделя: первый раз в ознакомительно-тренировочном режиме, второй – с фиксацией набранных баллов. Стимулирующим фактором являлась упрощенная процедура прохождения зачета для тех, чей результат оказывался выше порога 90 % от разницы между максимальным и минимальным значениями набранных баллов студентами группы.

Результаты

Представлены результаты статистической обработки данных (набранные студентами баллы и оценки факторов NASA-TLX) за 2022 и 2023 годы. Данные 2021 года опущены, поскольку в первый год осуществлялось уточнение методологии проведения занятий с применением AR-приложения. Данные 2024 года опущены, так как в этом году произошло изменение условий использования AR-приложения. Тем не менее рекомендации ниже основаны на практике всех четырех лет проведения занятий с использованием XR-технологий.

Перед обработкой данных производилась их фильтрация для отброса аномальных значений по критерию отношения центрированной случайной величины к среднеквадратическому отклонению, а затем проверки на независимость по критерию Аббе и нормальность по критерию Колмогорова – Смирнова. Статистическая значимость результатов обработки про-

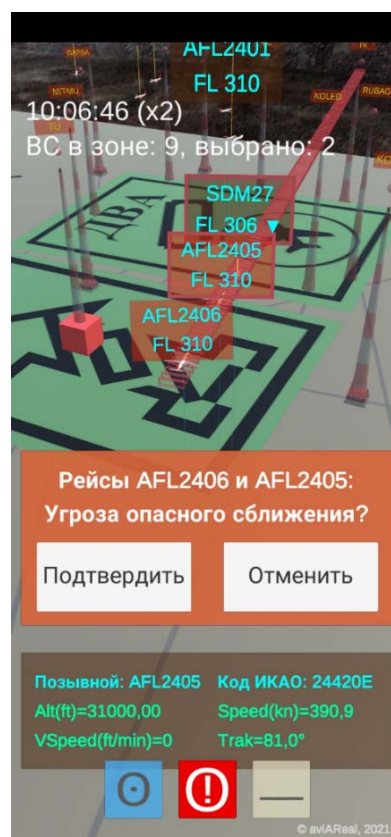


Рис. 2. Экран пользователя при регистрации угрозы опасного сближения

Fig. 2. Registration of the potential near miss

верена посредством однофакторного дисперсионного анализа для уровня значимости 0,05.

На рис. 3 показано изменение средних значений факторов NASA-TLX на протяжении 12 недель весеннего семестра. Тест NASA-TLX представляет собой многомерную рейтинговую процедуру – взвешенное среднее, основанное на шести оценочных факторах:

- 1) ментальной нагрузке;
- 2) физической нагрузке;
- 3) нагрузке, связанной с темпом работы;
- 4) производительности;
- 5) затраченных усилиях;
- 6) неудовлетворенности.

Факторы 1–3 связаны с нагрузками на испытуемого, факторы 4–6 – с взаимодействием между испытуемым и решаемой задачей.

NASA-TLX включает этапы оценки весов и факторов. На первом этапе тестируемые присваивают веса факторов в соответствии со своими представлениями об их вкладе в итоговую нагрузку. Эта информация применяется для определения различий в экспертных подходах и различий в важности критериев при выполнении разных задач. На втором этапе испытуемые оценивают сами факторы, используя шкалу, разделенную на 20 отрезков, каждый отрезок имеет вес 5, минимальное значение оценки – 0, максимальное – 100. Шкалы снабжены оппозитными дескрипторами. Студенты практиковались в оценивании факторов при пробном выполнении тестовых заданий.

Показатель фактора 4 («Производительность») близок к показателю «Набранные баллы», но если первый – субъективная самооценка, то второй – объективная «внешняя» оценка. Это обстоятельство позволяет использовать набранные баллы для верификации данных NASA-TLX, что продемонстрировано на рис. 4.

Обсуждение и заключение

Графики на рис. 4 подтверждают эффективность факторов NASA-TLX как оценок результатов применения XR-технологий в учебном процессе, поскольку показывают высокую корреляцию начиная с четвертой недели. Стартовое расхождение на второй неделе для «Набранных баллов», очевидно, объясняется недостаточной готовностью пользователей в начале периода к применению нового инструментария несмотря

на то, что к этому моменту они уже дважды применяли его на практике – на первом ознакомительном и первом тренировочном занятиях.

О периоде стартовой неустойчивости также говорит и поведение всех других факторов на рис. 3, за исключением «Неудовлетворенности» и «Физической нагрузки» – эти показатели имеют предсказуемо низкие и практически не изменяющиеся значения. Также мало меняется на протяжении 12 недель фактор «Затраченные усилия», его флуктуации можно связать со спецификой выполняемых упражнений.

Сильный подъем к 8-й неделе, а затем снижение значений фактора «Нагрузка темпа работы», вероятнее всего, связаны с пиком соревновательности при проведении занятий с последующей адаптацией к игровой среде взаимодействия между пользователями. Фактор «Ментальная нагрузка» ожидаемо снизился после начального сравнительно высокого значения по мере освоения навыков решения предлагаемых задач с помощью AR-приложения. Наконец, поведение фактора «Производительность», видимо, обусловлено исчезновением начальной эйфории от использования нового необычного инструмента.

Огромный массив публикаций по теме XR в образовании делает ненужными рассуждения о пользе этих технологий в образовательной практике, поэтому в качестве заключения дадим ряд рекомендаций, основанных на полученном в ходе проведения занятий опыте применения XR-технологий в вузовском учебном процессе с учетом анализа графиков на рис. 3.

1. В настоящее время все (sic!) ключевые игроки на IT-рынке рассматривают XR как следующую (после распространения смартфонов) «большую волну» революционных изменений в массовой цифровой технике, ожидая прихода этой волны в течение нескольких лет. Поэтому вполне справедливо ожидать, что применение AR (или в меньшей степени VR) коснется практически любой профессиональной деятельности, что определяет доминирующую модель внедрения XR в высшее образование в виде подготовки к использованию данных технологий в работе специалистов после окончания вуза. То есть организаторам высшего образования необходимо подумать о перспективах профильного применения XR и обеспечить введение в учебную программу соответствующих фрагментов. Примером может служить вышеописанный опыт: современные методы наблюдения

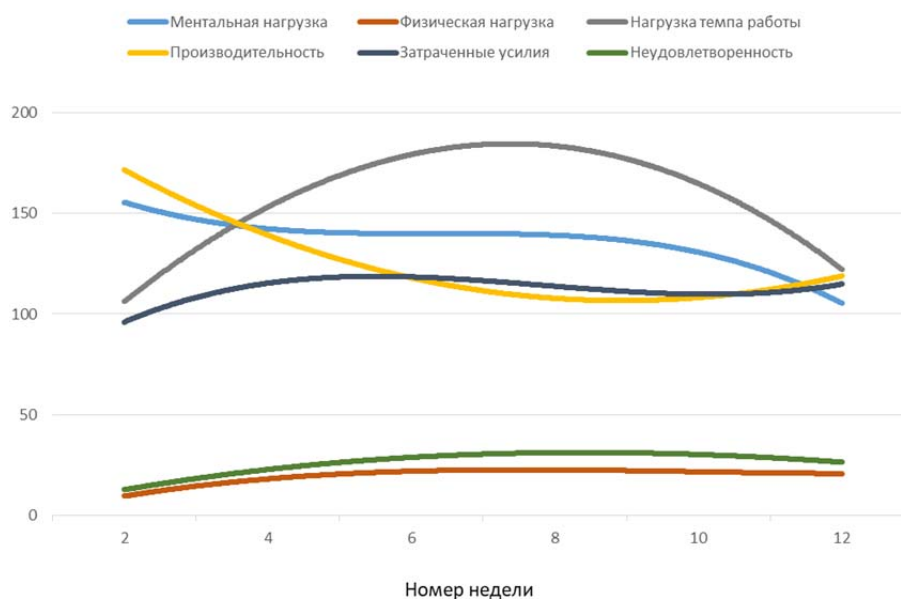


Рис. 3. Изменение значений факторов NASA-TLX в течение учебного семестра. Полиномиальное сглаживание степени 3

Fig. 3. The dynamics of changing of the NASA-TLX factors during the academic semester. Polynomial smoothing of degree 3

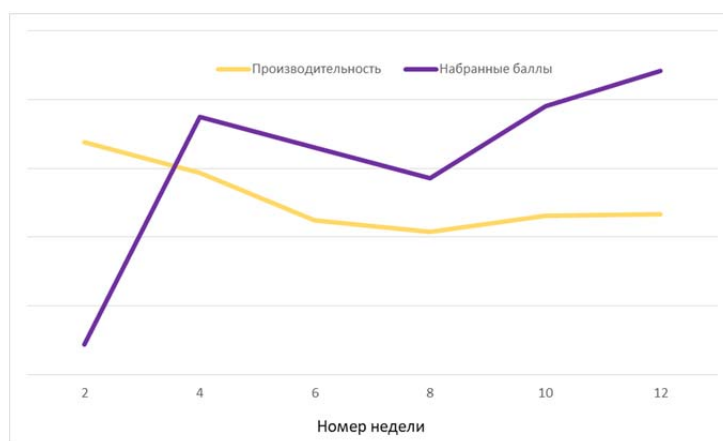


Рис. 4. Изменение средних значений фактора «Производительность» NASA-TLX и показателя набранных баллов в течение учебного семестра

Fig. 4. The change in the average values of the NASA-TLX Performance factor and the Score during the academic semester

воздушной обстановки в системах управления воздушным движением на плоских экранах при появлении тысяч дронов-доставщиков онлайн-покупок (ближайшее будущее массового ритейла) становятся бесполезными, решение проблемы – работа в трехмерной XR-среде с управлением точкой наблюдения. Именно такой опыт обеспечивают для студентов занятия с применением AR-приложения OKO Labs.

2. Наиболее целесообразный для использования в образовательной практике вид XR-тех-

нологий – AR, которая свободна от негативного влияния на вестибулярный аппарат студентов (характерно для VR), позволяет задействовать в учебной процедуре объекты реального мира и повышать дидактическую эффективность за счет преимуществ AR по сравнению с VR. Эти преимущества связаны с параллельным сосуществованием в AR виртуальных и реальных объектов, среди них можно выделить следующие:

а) реальное расширяет виртуальное – в VR сенсорный опыт пользователя преимуществен-

но ограничен видео- и аудиоэффектами, тогда как в AR присутствует весь спектр ощущений реального мира;

б) виртуальное расширяет реальное – в AR возможно моделирование ситуаций, которые невозможно или небезопасно создавать в реальном мире, оставаясь при этом в его рамках;

в) естественный интерфейс – в AR управление виртуальными объектами движением зрачков, голосом и жестами предельно упрощает взаимодействие пользователя и компьютера;

г) связь между виртуальными и реальными объектами, эффективно эксплуатируемая в обучающих системах.

3. При использовании AR в регулярном учебном процессе с десятками студентов высокая стоимость носимых устройств типа HoloLens или Vision Pro оставляет только одну возможность визуальной реализации среды AR – посредством приложений, использующих камеры смартфонов.

4. Разнообразие моделей мобильных устройств у студентов приводит к позиционированию виртуальных объектов в AR посредством графических маркеров с подключением автономного SLAM-позиционирования, если модель мобильного устройства поддерживает таковое.

5. Проведение занятий в «рабочем» режиме должно предваряться как минимум 3–4 ознакомительными и обучающими сессиями.

6. Переходные процессы, связанные с освоением новой учебной процедуры с применением XR, длятся не менее 10 занятий, что следует учитывать при планировании учебного процесса.

7. Привнесение в учебную процедуру игрового, соревновательного момента – эффективное средство подъема заинтересованности студентов в тщательном выполнении заданий.

8. Весьма полезно мотивировать студентов выполнять после каждого занятия тест NASA-TLX, что при его компьютерной реализации (например, в виде таблицы Excel со встроенными макросами, как имело место в данном случае) делает тестирование необременительным и дает надежные, сопоставимые оценки результативности.

Список литературы

1. **Marques B., Santos B.S., Dias P.** Ten years of immersive education: Overview of a virtual and augmented reality course at post-

graduate level [Электронный ресурс] // Computers & Graphics. 2024. Vol. 124. ID: 104088. DOI: 10.1016/j.cag.2024.104088 (дата обращения: 12.01.2025).

2. **Zhang Y.** Virtual and augmented reality in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education: An umbrella review / Y. Zhang, M.A. Feijoo-Garcia, Y. Gu, V. Popescu, B. Benes, A.J. Magana [Электронный ресурс] // Information. 2024. Vol. 15, iss. 9. ID: 515. DOI: 10.3390/info15090515 (дата обращения: 12.01.2025).

3. **Wang Q., Li Y.** How virtual reality, augmented reality and mixed reality facilitate teacher education: A systematic review // Journal of Computer Assisted Learning. 2024. Vol. 40, iss. 3. Pp. 1276–1294. DOI: 10.1111/jcal.12949

4. **Sakr A., Abdullah T.** Virtual, augmented reality and learning analytics impact on learners, and educators: A systematic review // Education and Information Technologies. 2024. Vol. 29. Pp. 19913–19962. DOI: 10.1007/s10639-024-12602-5

5. **Jagatheesaperumal S.** Advancing education through extended reality and internet of everything enabled metaverses: applications, challenges, and open issues / S. Jagatheesaperumal, K. Ahmad, A. Al-Fuqaha, J. Qadir // IEEE Transactions on Learning Technologies, 2024. Vol. 17. Pp. 1120–1139. DOI: 10.1109/TLT.2024.3358859

6. **Pregowska A., Osial M., Gajda A.** What will the education of the future look like? How have Metaverse and Extended Reality affected the higher education systems? [Электронный ресурс] // Metaverse Basic and Applied Research. 2024. Vol. 3. ID: 57. DOI: 10.56294/mr202457 (дата обращения: 12.01.2025).

7. **Al-Ansi A.M.** Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education / A.M. Al-Ansi, M. Jabooob, A. Garad, A. Al-Ansi [Электронный ресурс] // Social Sciences & Humanities Open. 2023. Vol. 8, iss. 1. ID: 100532. DOI: 10.1016/j.ssaho.2023.100532 (дата обращения: 12.01.2025).

8. **Banjar A.** A systematic review of the experimental studies on the effectiveness of mixed reality in higher education between 2017 and 2021 / A. Banjar, X. Xu, M.Z. Iqbal, A. Campbell [Электронный ресурс] // Computers & Education: X Reality. 2023. Vol. 3. ID: 100034. DOI: 10.1016/j.cexr.2023.100034 (дата обращения: 12.01.2025).

9. **Marín-Rodríguez W.J., Andrade-Girón D.C., Zúñiga-Rojas M. и др.** Artificial In-

telligence and Augmented Reality in Higher Education: a systematic review [Электронный ресурс] // Data and Metadata. 2023. Vol. 2. ID: 121. DOI: 10.56294/dm2023121 (дата обращения: 12.11.2024).

10. Buchner J., Kerres M. Media comparison studies dominate comparative research on augmented reality in education [Электронный ресурс] // Computers & Education. 2023. Vol. 195. ID: 104711. DOI: 10.1016/j.compedu.2022.104711 (дата обращения: 12.01.2025).

11. Koumpouros Y. Revealing the true potential and prospects of augmented reality in education [Электронный ресурс] // Smart Learning Environments. 2024. Vol. 11. ID: 2. DOI: 10.1186/s40561-023-00288-0 (дата обращения: 12.01.2025).

12. Xi N. The challenges of entering the metaverse: An experiment on the effect of extended reality on workload / N. Xi, J. Chen, F. Gama, M. Riar, J. Hamari // Information Systems Frontiers. 2023. Vol. 25. Pp. 659–680. DOI: 10.1007/s10796-022-10244-x

13. O'Connor Y., Mahony C. Exploring the impact of augmented reality on student academic self-efficacy in higher education [Электронный ресурс] // Computers in Human Behavior. 2023. Vol. 149. ID: 107963. DOI: 10.1016/j.chb.2023.107963 (дата обращения: 12.01.2025).

14. Ríos L.V., Acosta-Díaz R., Santana-Mancilla P.C. Enhancing self-learning in higher education with virtual and augmented reality role games: students' perceptions // Virtual Worlds. 2023. Vol. 2, iss. 4. Pp. 343–358. DOI: 10.3390/virtualworlds2040020

15. Gauthama W. Updating aircraft maintenance education for the modern era: a new approach to vocational higher education / W. Gauthama, O. Hendra, P.R. Aswia, D. Amalia // Higher Education, Skills and Work-Based Learning. 2025. Vol. 15, no. 1. Pp. 46–61. DOI: 10.1108/HESWBL-11-2023-0314

16. Shahzad K. Factors influencing the adoption of extended reality (XR) applications in libraries for sustainable innovative services: a systematic literature review (SLR) / K. Shahzad, S.A.K.A. Khan, Y. Javed, S. Ahmad // The Electronic Library. 2025. Vol. 43, iss. 1. Pp. 22–40. DOI: 10.1108/EL-06-2024-0188

17. Christou E., Parmaxi A., Christoforou M. Implementation and application of extended reality in foreign language education for specific purposes: a systematic literature review

[Электронный ресурс] // Universal Access in the Information Society. 2025. DOI: 10.1007/s10209-025-01191-w (дата обращения: 12.01.2025).

18. Hart S.G. NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later // Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting, 2006. Vol. 50, no. 9. Pp. 904–908. DOI: 10.1177/154193120605000909

References

1. Marques, B., Santos, B.S., Dias, P. (2024). Ten years of immersive education: Overview of a virtual and augmented reality course at postgraduate level. *Computers & Graphics*, vol. 124, ID: 104088. DOI: 10.1016/j.cag.2024.104088 (accessed: 12.01.2025).

2. Zhang, Y., Feijoo-Garcia, M.A., Gu, Y., Popescu, V., Benes, B., Magana, A.J. (2024). Virtual and augmented reality in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education: An umbrella review. *Information*, vol. 15, issue 9, ID: 515. DOI: 10.3390/info15090515 (accessed: 12.01.2025).

3. Wang, Q., Li, Y. (2024). How virtual reality, augmented reality and mixed reality facilitate teacher education: A systematic review. *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 40, issue 3, pp. 1276–1294. DOI: 10.1111/jcal.12949

4. Sakr, A., Abdullah, T. (2024). Virtual, augmented reality and learning analytics impact on learners, and educators: A systematic review. *Education and Information Technologies*, vol. 29, pp. 19913–19962. DOI: 10.1007/s10639-024-12602-5

5. Jagatheesaperumal, S., Ahmad, K., Al-Fuqaha, A., Qadir, J. (2024). Advancing education through extended reality and internet of everything enabled metaverses: applications, challenges, and open issues. In: *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 17, pp. 1120–1139. DOI: 10.1109/TLT.2024.3358859

6. Pregowska, A., Osial, M., Gajda, A. (2024). What will the education of the future look like? How have Metaverse and Extended Reality affected the higher education systems? *Metaverse Basic and Applied Research*, vol. 3. ID: 57. DOI: 10.56294/mr202457 (accessed: 12.01.2025).

7. Al-Ansi, A.M., Jaboob, M., Garad, A., Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*,

vol. 8, issue 1. ID: 100532. DOI: 10.1016/j.ssaho.2023.100532 (accessed: 12.01.2025).

8. Banjar, A., Xu, X., Iqbal, M.Z., Campbell, A. (2023). A systematic review of the experimental studies on the effectiveness of mixed reality in higher education between 2017 and 2021. *Computers & Education: X Reality*, vol. 3. ID: 100034. DOI: 10.1016/j.cexr.2023.100034 (accessed: 12.01.2025).

9. Marín-Rodríguez, W.J., Andrade-Girón, D.C., Zúñiga-Rojas, M. et al. (2023). Artificial Intelligence and Augmented Reality in Higher Education: a systematic review. *Data and Metadata*, vol. 2. ID: 121. DOI: 10.56294/dm2023121 (accessed: 12.01.2025).

10. Buchner, J., Kerres, M. (2023). Media comparison studies dominate comparative research on augmented reality in education. *Computers & Education*, vol. 195. ID: 104711. DOI: 10.1016/j.compedu.2022.104711 (accessed: 12.01.2025).

11. Koumpouros, Y. (2024). Revealing the true potential and prospects of augmented reality in education. *Smart Learning Environments*, vol. 11. ID: 2. DOI: 10.1186/s40561-023-00288-0 (accessed: 12.01.2025).

12. Xi, N., Chen, J., Gama, F., Riar, M., Hamari, J. (2023). The challenges of entering the metaverse: An experiment on the effect of extended reality on workload. *Information Systems Frontiers*, vol. 25, pp. 659–680. DOI: 10.1007/s10796-022-10244-x

13. O'Connor, Y., Mahony, C. (2023). Exploring the impact of augmented reality on student academic self-efficacy in higher education.

Computers in Human Behavior, vol. 149. ID: 107963. DOI: 10.1016/j.chb.2023.107963 (accessed: 12.01.2025).

14. Ríos, L.V., Acosta-Díaz, R., Santana-Mancilla, P.C. (2023). Enhancing self-learning in higher education with virtual and augmented reality role games: students' perceptions. *Virtual Worlds*, vol. 2, issue 4, pp. 343–358. DOI: 10.3390/virtualworlds2040020

15. Gauthama, W., Hendra, O., Aswia, P.R., Amalia, D. (2025). Updating aircraft maintenance education for the modern era: a new approach to vocational higher education. *Higher Education, Skills and Work-Based Learning*, vol. 15, no. 1, pp. 46–61. DOI: 10.1108/HESWBL-11-2023-0314

16. Shahzad, K., Khan, S.A.K.A., Javed, Y., Ahmad, S. (2025). Factors influencing the adoption of extended reality (XR) applications in libraries for sustainable innovative services: a systematic literature review (SLR). *The Electronic Library*, vol. 43, issue 1, pp. 22–40. DOI: 10.1108/EL-06-2024-0188

17. Christou, E., Parmaxi, A., Christoforou, M. (2025). Implementation and application of extended reality in foreign language education for specific purposes: a systematic literature review. Universal Access in the Information Society. 2025. DOI: 10.1007/s10209-025-01191-w (accessed: 12.01.2025).

18. Hart, S.G. (2006). NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. In: *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting*, vol. 50, no. 9, pp. 904–908. DOI: 10.1177/154193120605000909

Сведения об авторе

Горбунов Андрей Леонидович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления воздушным движением МГТУ ГА, a.gorbunov@mstuca.ru.

Information about the author

Andrey L. Gorbunov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Air Traffic Management Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation, a.gorbunov@mstuca.ru.

Поступила в редакцию 13.02.2025
Одобрена после рецензирования 10.03.2025
Принята в печать 22.05.2025

Received 13.02.2025
Approved after reviewing 10.03.2025
Accepted for publication 22.05.2025