

Технологии расширенной реальности и перспективы их глобального применения в рамках концепции пространственно-ориентированного XR-интернета

В. А. Дорохин*, Л. Н. Теряев, Р. А. Зорин

ГБОУ ВО Московской области «Университет «Дубна», г. Дубна, Российская Федерация

Адрес: 141982, Российская Федерация, Московская область, г. Дубна, ул. Университетская, д. 19

* victor.doroh@gmail.com

Аннотация

В статье рассматриваются темпы развития современных ИТ-технологий расширенной реальности и их применение в различных сферах. Целью статьи является обзор современных и перспективных технологий с точки зрения возможности создания глобальной распределенной сети расширенной реальности. Описывается история формирования существующих парадигм расширенной реальности. Анализируются основные информационные ресурсы, предоставляющие сведения о перспективах развития мобильных процессоров, графических чипов и мобильной связи, которые необходимы для создания динамических систем, использующих технологии расширенной реальности. Описано видение и требования к организации работы с объектами расширенной реальности. Также затронута тема привязки виртуальных объектов к объектам и координатам реального мира. Описаны основные направления применения расширенной реальности и компании, которые занимаются разработкой либо внедрением этих технологий. Делается предположение о том, что данные технологии могут стать основой для нового этапа человеко-машинного взаимодействия, что позволит человечеству быстрее и качественнее получать информацию из внешней информационной среды и коммуницировать с ней без специального оборудования, в более интуитивном формате. Описаны варианты применения предлагаемой технологии, например интеграция устройств интернета вещей в метaprостранство для управления техникой и различных вариантов взаимодействия с ними.

Ключевые слова: расширенная реальность, технологии, дополненная реальность, геоориентированный XR-интернет, виртуальная реальность

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дорохин В. А., Теряев Л. Н., Зорин Р. А. Технологии расширенной реальности и перспективы их глобального применения в рамках концепции пространственно-ориентированного XR-интернета // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2023. Т. 19, № 2. С. 403-411.

© Дорохин В. А., Теряев Л. Н., Зорин Р. А., 2023



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Original article

Augmented Reality Technologies and Prospects for Their Global Application within the Framework of the Geo-Oriented XR-Internet Concept

V. A. Dorokhin*, L. N. Teryaev, R. A. Zorin

Dubna State University, Dubna, Russian Federation

Address: 19 Universitetskaya St., Dubna 141980, Moscow Region, Russian Federation

* victor.doroh@gmail.com

Abstract

The article examines the pace of development of modern IT technologies of extended reality and their application in various fields. The purpose of the article is to review modern and promising technologies from the point of view of the possibility of creating a global distributed network of extended reality. The history of the formation of existing extended reality paradigms is described. The article also analyzes the main information resources that provide information about the prospects for the development of mobile processors, graphics chips and mobile communications, which are necessary to create dynamic systems using extended reality technologies. The vision and requirements for organizing work with extended reality objects are described. Also, the topic of linking virtual objects to objects and coordinates of the real world is touched on. The main areas of application of extended reality and companies that develop or implement these technologies are described. It is suggested that these technologies can form the basis for a new stage of human-machine interaction. This will allow humanity to receive information from the external information environment faster and with better quality, as well as communicate with it without special equipment in a more intuitive format. The article describes options for using the proposed technology, for example, the integration of Internet of Things devices into the meta-space for controlling equipment.

Keywords: augmented reality, technologies, augmented reality, geo-oriented XR-internet, virtual reality

Conflict of interests: The authors declare no conflict of interests.

For citation: Dorokhin V.A., Teryaev L.N., Zorin R.A. Augmented Reality Technologies and Prospects for Their Global Application within the Framework of the Geo-Oriented XR-Internet Concept. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2023;19(2):403-411.



Введение

В течение всей истории своего существования человечество модифицировало и усовершенствовало способы получения информации. Темпы развития современных ИТ-технологий в значительной мере обусловлены необходимостью человечества получать информацию быстрее, в больших объемах и качественнее с точки зрения простоты восприятия. Это прослеживается во всех сферах повседневной жизни, производства, бизнеса.

С появлением компьютерных технологий развитие систем человеко-машинного взаимодействия сделало качественный рывок, что позволило менее чем за полвека создать способы представления информации, которые по скорости и уровню иммерсивности¹ на несколько порядков превосходили все, что было ранее. В последнее десятилетие были разработаны различные технологии и устройства, позволяющие дополнять реальность различными виртуальными объектами, информацией различного рода или же полностью заменять ее [1]. Такие технологии называются дополненной, или смешанной реальностью. Под смешанной реальностью подразумевается дополненная реальность, которая взаимодействует с реальным миром (физически или визуально за счет карты глубины). Смешанную реальность в том числе называют Hybrid Reality (гибридная реальность).

Идеи, которые легли в основу принципов смешанной реальности, начали формироваться еще до начала массового распространения компьютерных технологий. На сегодняшний день не существует точных определений и классификации описываемых технологий, что говорит о том, что эта сфера все еще находится в начале своего развития и является актуальной для исследований. Относительно устоявшимся на сегодняшний день является следующее разделение: виртуальная реальность, дополненная реальность и смешанная реальность, которые имеют обобщающий термин — Extended Reality (XR), или расширенная реальность. У технологий расширенной реальности есть огромный потенциал для их глобального применения. В связи с этим необходимы единые стандарты для отрасли и технологий разработки, а также создание облачной инфраструктуры для эффективного распространения содержимого расширенной реальности между клиентскими устройствами.

В плане потребительской электроники активное развитие можно отметить начиная с 2019 года. В статье Ивановой А. В. [2] сказано, что в 2010-х технологии дополненной и виртуальной реальности сделали основной шаг в сторону потребительской аудитории. В то же время были выделены две основные идеологии разработки носимых устройств, которые в том или ином виде присутствуют на рынке и сегодня. Компания Oculus предложила устройство, совмещающее в себе линзы, экраны, вычислительный модуль, звук. Необходимость подключения

полученного шлема к высокопроизводительному ПК одновременно дает возможность получения более качественной графики и повышает скорость обновления изображения, но вместе с тем лишает устройство мобильности и удобства в использовании. Компания Google представила концепцию Cardboard. Она предлагает использовать уже имеющийся у пользователя смартфон и моделировать виртуальные объекты на нем, обманывая глаза пользователя с помощью простейших очков, которые выступают лишь в роли аксессуара для использования смартфона в режиме расширенной реальности [2]. Описанные в статье форматы носимых устройств сохраняются до сих пор, за исключением нового рода устройств смешанной реальности. Самым известным из них является HoloLens от компании Microsoft².

Привязка информации к географическим координатам и объектам реального мира является перспективной задачей данной отрасли, поскольку это значительно расширит спектр применения технологий и в несколько раз ускорит процесс получения информации человеком.

Применение технологий расширенной реальности

Существует множество сфер применения расширенной реальности [3]. В первую очередь это относится к геопривязанным объектам и метаданной объектов реального мира. Это обусловлено тем, что, работая в полностью подконтрольной реальности либо внедряя в реальный мир виртуальные объекты, разработчик получает возможность работать в потенциально невозможной для реального мира ситуации, что значительно расширяет спектр применимости технологий в целом. В статье [2] автор говорит, что технологии дополненной и виртуальной реальности станут ключевыми технологиями четвертой промышленной революции и могут стать ключевым фактором вычислительной платформы следующего поколения. На сегодняшний день основными сферами, в которых используются XR-технологии, являются: видеоигры, медицина, искусство, маркетинг, образование, строительство, недвижимость, прототипирование и другие. В ближайшее время, по прогнозам аналитических компаний³ [4], начнется активное внедрение технологий в бизнес-процессы компаний различного уровня, поскольку во многих сферах, внедрение технологий расширенной реальности позволит значительно снизить издержки, например, на обучение или работу в условиях неблагоприятной среды. Финансовая компания GoldmanSachs предполагает, что устройства расширенной реальности обретут популярность и найдут себе применение на уровне с современными мобильными телефонами. Эти устройства будут использоваться для развлечений, работы, покупок, присутствия

¹ Иммерсивность – это способ восприятия, создающий эффект погружения в искусственно созданную среду.

² Microsoft HoloLens 2. Для точной и эффективной работы без использования рук [Электронный ресурс] // Microsoft, 2023. URL: <https://www.microsoft.com/ru-ru/hololens> (дата обращения: 28.02.2023).

³ Verhage J. Goldman Sachs Has Four Charts Showing the Huge Potential in Virtual and Augmented Reality [Электронный ресурс] // Bloomberg. 13 января 2016. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-01-13/goldman-sachs-has-four-charts-showing-the-huge-potential-in-virtual-and-augmented-reality> (дата обращения: 28.02.2023); Скрынникова А. Все, что нужно знать про VR/AR-технологии [Электронный ресурс] // Rusbase. 28 июня 2017. РБточкаРУ, 2017. URL: <https://rb.ru/story/vsyo-o-vr-ar> (дата обращения: 28.02.2023); Зыкова С. 8 предсказаний Роберта Скоубла о будущем AR/VR технологий [Электронный ресурс] // Rusbase. 23 августа 2027. РБточкаРУ, 2017. URL: <https://rb.ru/story/ar-vr-predictions> (дата обращения: 28.02.2023).



на мероприятиях и т. д.⁴ Несмотря на широкий охват сфер, круг основных задач, которые решаются с помощью технологий расширенной реальности, внутри предметной области может быть выделен в два основных направления [2]:

- реклама, игры и развлечения, демонстрация продукта и его характеристик;
- образование и закрепление навыков, прототипирование и визуализация, получение навыков работы с различным оборудованием, человеко-машинное взаимодействие.

Это в том числе обуславливает высокую сегрегацию среди технологий разработки содержимого. Бизнес использует собственные разработки, которые в том числе можно было бы успешно применять в потребительском сегменте. Стандартизация и общие методы взаимодействия позволили бы значительно ускорить разработку и внедрение на рынок таких продуктов. Универсальные подходы к геопространственному позиционированию содержимого позволят значительно сместить вектор применимости расширенной реальности в сторону конечного потребителя за счет бесшовного переключения между различными продуктами внутри сети расширенной реальности.

Общественное значение расширения реальности

Расширенная реальность имеет ряд вопросов, которые требуют серьезной проработки. Виртуализация пространства влечет за собой ряд вопросов, таких как валидация действительности, этичность продвинутой иммерсивности и другие.

В процессе эволюции, с ростом умственных способностей человека, происходило параллельное развитие способов обмена информацией. Что неизбежно, поскольку информация является основным ресурсом интеллектуального развития. Расширение пропускного канала информации (объема информации, которую может усвоить человек на единицу времени) является необходимым условием прогресса. Исходя из этого, технологии, позволяющие расширять либо полностью заменять реальность, являются закономерным результатом стремления человека к новым знаниям. Виртуализация реального пространства повышает его многогранность, расширяет границы видимого и в будущем осязаемого, позволяет овладеть возможностями и получить ощущения, которые были невозможны в реальной жизни человека.

В статье [5] автор отводит дополненной реальности роль нового онтологического уровня, который позволяет одному или многим субъектам расширить свое поле зрения, дополняя реальность модульной визуализацией с помощью кибернетических систем и цифровых коммуникаций. При этом благодаря современным технологическим решениям в области синхронизации событий этот онтологический уровень может быть идентичен для практически не ограниченной по своему

количеству группы людей, что теоретически подразумевает возможность массового влияния на реальность общества и порождает целый ряд вопросов самого разного характера. Проблемы подобного рода возникают также и в других перспективных направлениях развития, таких как искусственный интеллект, нейроинформатика, геновая инженерия и другие.

Современное состояние технологий расширенной реальности

Перспективность развития систем расширенной реальности была идеально проиллюстрирована во многих произведениях научной фантастики и кинематографа. Есть четкое понимание, как будут выглядеть эти технологии в будущем [6, 7]. В статье [2] автор указывает на ряд проблем в развитии расширенной реальности, например громоздкость устройств, недостаток качественного контента, высокую стоимость, проблемы безопасности, а также отсутствие общих стандартов. Современный уровень технологического развития не позволяет раскрыть весь потенциал дополненной и виртуальной реальности. Одно из свойств виртуальной реальности — иммерсивность. Для повышения качества погружения необходимо использовать больше вычислительной мощности, что, в свою очередь, значительно снижает удобство, тем самым нивелируя полученные преимущества [4], [8, 9].

Адаптация содержимого под конкретное устройство также является необходимым условием. Программное обеспечение, разработанное для платформы от Apple, не всегда корректно может использоваться в экосистеме Google. Подобная же ситуация складывается и с носимыми устройствами. Как пример можно привести экосистемы Vive от компании HTC⁵ и Playstation VR производства компании Sony⁶. Далеко не все приложения для дополненной и виртуальной реальности разработаны с использованием кроссплатформенных технологий. Отсутствие единых стандартов и принципов разработки различных приложений для расширенной реальности значительно увеличивает порог вхождения новых разработчиков и значительно замедляет развитие данной технологии.

Перспективы развития

Рынок мобильных процессоров на сегодняшний день представляет собой активно развивающийся и конкурентный рынок. При этом стоит отметить, что переход на 5-нанометровый технический процесс производства вычислительных плат позволит еще больше повысить производительность чипов. Сегодня некоторые мобильные процессоры вполне могут конкурировать с настольными компьютерами по уровню производительности и при этом сохранять высокую энергоэффективность и теплоэффективность. У процессоров ARM в ближайшие годы ожидается рост производительности, превосходящий закон Мура⁷.

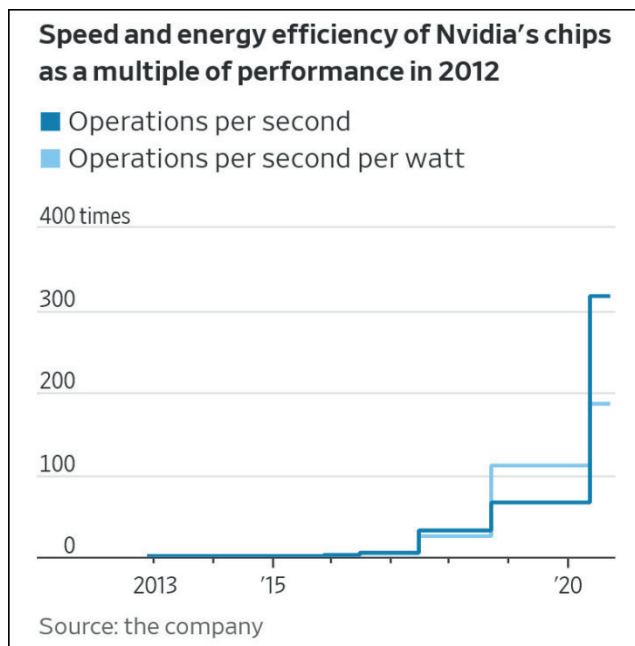
⁴ Heath A., Olson M. Mark Zuckerberg on Mind Reading, Apple and the Race to Mainstream VR [Электронный ресурс] // The information. 8 May, 2021. URL: <https://www.theinformation.com/articles/mark-zuckerberg-on-mind-reading-apple-and-the-race-to-mainstream-vr> (дата обращения: 28.02.2023).

⁵ Vive Россия и СНГ : официальный сайт [Электронный ресурс] // HTC Corporation, 2023. URL: <https://www.vive.com/ru> (дата обращения: 28.02.2023).

⁶ Playstation VR : официальный сайт [Электронный ресурс] // Sony Interactive Entertainment Europe Limited, 2023. URL: <https://www.playstation.com/ru-ua/ps-vr> (дата обращения: 28.02.2023).

⁷ Mims C. Huang's Law Is the New Moore's Law, and Explains Why Nvidia Wants Arm [Электронный ресурс] // The Wall Street Journal. 2020. URL: <https://www.wsj.com/articles/huangs-law-is-the-new-moores-law-and-explains-why-nvidia-wants-arm-11600488001> (дата обращения: 28.02.2023).





Р и с. 1. Рост производительности чипов Nvidia⁸
F i g. 1. Nvidia Chip Performance Growth⁸

Помимо улучшения процессоров, активно идет развитие мобильных графических чипов, что в целом дает возможности, которые были ранее практически недоступны для носимых устройств: трекинг и распознавание объектов на видеопотоке в реальном времени, рендеринг сложных 3D объектов, полноценная работа алгоритмов машинного зрения и компьютерного обучения непосредственно на клиентском устройстве. В качестве примера можно привести рост производительности чипов Nvidia, график роста количества операций в секунду отображен на рисунке 1.

Это ведет к возможности создания достаточных для использования в режиме реального времени смартфонов и шлемов виртуальной реальности, оборудованных внешними камерами. Но в последнее время широкое развитие получают системы дополненной реальности, основанные на принципе передачи изображения по световодным и волноводным каналам⁹. Развитие подобных устройств позволит в полной мере использовать возможности расширения реальности в повседневной жизни [10].

Новое поколение мобильной связи, 5G [11], является одной из самых ожидаемых технологий в этом десятилетии¹⁰. 5G об-

ладает рядом преимуществ, по сравнению с существующими технологиями связи, а именно:

- возросшая скорость обмена данными (до 10 Гбит/с);
- уменьшенная задержка сигнала;
- повышение максимальной пропускной способности сети;
- оптимизация энергопотребления;
- работа на более высоких частотах;
- высокая мобильность пользователей.

В статье Амельченко Н. А. описываются возможности нового поколения связи¹¹. Согласно существующим тестам, скорость загрузки в сети 5G может достигать от 10 до 25 Гбит/с с минимальными задержками в передаче сигнала (всего 1-2 миллисекунды). Этой скорости уже будет достаточно для моментальной передачи на клиентское устройство десятков и даже сотен виртуальных объектов, ввиду того что их вес в формализованном виде редко будет превышать 2-3 Мбайт, а также оставит достаточно большой запас производительности.

Исторически сложилось так, что компьютерные технологии и технические системы получают свое массовое распространение именно после того, как для них вводятся общие понятия, стандарты, спецификации. Одним из самых ярких примеров является Всемирная сеть. До того, как в CERN был разработан протокол WWW и не был введен стандарт HTML, интернет использовался только для решения локальных задач ученых и военных [12, 13]. С появлением описанных стандартов, которые быстро стали общепринятыми, существенно снизился порог вхождения, и Сеть начала наполняться содержимым. Содержимое в компьютерной сети или системе сравнимо с предложением на рынке в экономике. Но, в отличие от экономической теории, в компьютерных науках скорее верно предположение, что предложение рождает спрос. Таким образом, с появлением содержимого и упрощением его создания началось активное развитие интернета в том виде, в котором люди привыкли видеть его на текущий момент.

Видение и требования к организации объектов расширенной реальности в геораспределенную сеть (XR-интернет) Каждый год увеличивается среднестатистический объем информации, получаемой человеком за всю его жизнь, и это является основной причиной необходимости модернизации средств ее получения. Увеличение скорости потребления информации откроет ряд новых возможностей в самых различных сферах и ускорит общие темпы развития человека. Примером может послужить повсеместное внедрение портативных устройств, благодаря которому объем передаваемой по сети информации вырос на порядки¹².

Современные технологии позволяют проводить расширение реальности с помощью виртуальных объектов, не толь-

⁸ Там же.

⁹ Путилин А. Дисплей дополненной реальности и голография [Электронный ресурс] // Коммерсантъ. 09.07.2020. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4408325> (дата обращения: 28.02.2023).

¹⁰ Клейменова Л. Что такое 5G? [Электронный ресурс] // РБКТренды. 11.03.2021. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/cmrm/5daed56a9a7947b119ba88dd> (дата обращения: 28.02.2023).

¹¹ Амельченко Н. А. Разработка модели 5G с использованием PlutoSDR // Инновации и научно-техническое творчество молодежи : Материалы Российской научно-технической конференции. Новосибирск : СибГУТИ, 2022. С. 150-155. EDN: VOCCNM

¹² Reinsel D., Gantz J., Rydning J. IDC White Paper "Data Age 2025: The Evolution of Data to Life-Critical-Don't Focus on Big Data; Focus on the Data That's Big". Framingham, USA : IDC, 2017. 25 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/Seagate-WP-DataAge2025-March-2017.pdf> (дата обращения: 28.02.2023).



ко интегрировав их на исходный объект в реальности, но и описав их взаимодействие с объектами реального мира. Для широкого распространения данных технологий необходима программная экосистема, позволяющая получать, создавать, и систематизировать содержимое расширенной реальности¹³ [14-25]. XR-интернет можно описать в виде концепции распределенной сети смешанной реальности, удовлетворяющей современным требованиям к удобству и скорости получения информации, но при этом сохраняющей мобильность технологии, использующей современное аппаратно-программное обеспечение и глобальные распределенные сети передачи данных.

Использование привязки виртуальных объектов к объектам и координатам реального мира позволит провести объединение реального и виртуального пространств, что открывает новые грани применения информационных технологий в целом. Подобный подход может стать той самой новой парадигмой, о которой говорит Марк Цукерберг, активно продвигающий сейчас создание мета-вселенных: «AR-очки требуют новой парадигмы, потому что в будущем они должны работать в любой ситуации, с которой пользователь столкнется в течение дня»¹⁴. Данное решение должно, в том числе, предусматривать удобство в разработке как программном, так и содержательном, это является одним из ключевых параметров при сравнении с существующими распределенными сетями. Система должна быть реализована в виде сети, позволяющей производить распределенное хранение информации о виртуальных объектах и предоставлять методы и протоколы для обмена хранимыми данными. Должны поддерживаться как синхронный, так и асинхронный метод обмена данными.

Для решения данной задачи можно сформировать набор крупных направлений исследования:

- исследование современных программных и аппаратных возможностей;
- исследование современных проблем и возможностей в сфере обмена информацией;
- формирование концепции глобальной распределенной сети смешанной реальности;
- проектирование архитектуры и выделение программных компонентов системы;
- проектирование обслуживающих компонентов системы, их взаимодействия;
- поиск либо разработка подходящего стандарта для формализации и обмена информацией об объектах расширенной реальности.

При этом к разрабатываемой системе и стандарту разработки содержимого выдвигается ряд требований, которые необходимы для достижения максимального эффекта от внедрения технологии, из них можно выделить:

- Сеть использует стандартизированный формат разметки виртуальных объектов и интерфейсов.
- Объекты системы могут быть привязаны как к мастер-положению, так и к любому объекту реального мира.
- Система не зависит от конкретного программного либо аппаратного обеспечения.
- Система может быть реализована в любом современном ПО для создания приложений расширенной реальности.
- Система работает с разнородными объектами привязки.
- Система позволяет привязывать интерфейс как к виртуальным объектам, так и к объектам реального мира.
- Система является максимально адаптированной к современным носимым устройствам.
- Система подразумевает вложенную маршрутизацию для идентификации объектов внутри определенной локации.

Предлагаемая система уже сейчас не подходит под классификацию систем дополненной реальности, предлагаемую 10 лет назад, поскольку обладает одновременно всеми их свойствами. На сегодняшний день большая часть описываемых тогда проблем решена, и создание подобной геораспределенной системы становится возможным.

Заключение

Технологии расширенной реальности, как и им подобные, такие как искусственный интеллект, безусловно, несут человечеству новые возможности и открывают новые перспективы¹⁵. Изучение предметной области показало повышенное внимание к технологиям расширенной реальности как со стороны программных, так и со стороны аппаратных разработчиков. Отсутствие единой системы обмена данными для продуктов смешанной и дополненной реальности серьезно тормозит развитие отрасли в целом. Анализ истории развития технологий и современных программно-аппаратных возможностей говорит о возможности создания глобальных геораспределенных пространств поверх реального мира в уже обозримом будущем. Это дает возможность определить базовые требования к концепции XR-интернета, которая позволит организовать наложение виртуального пространства поверх реального мира, при этом сохранив простоту разработки содержимого сети и реализации новых носимых устройств.

¹³ Танаев К., Асадуллаев И. Рынок виртуальной реальности в России 2016. М. : Институт современных медиа (MOMRI), 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://momri.org/wp-content/uploads/2018/08/momri-vr-market-in-russia-april-2017-rus.pdf> (дата обращения: 28.02.2023); Ежиков А. Как использовать VR-технологии для бизнеса? [Электронный ресурс] // Forbes. 08 июня 2017. AC Пус Медиа, 2017. URL: <https://www.forbes.ru/tehnologii/343867-kak-ispolzovat-vr-tehnologii-dlya-biznesa> (дата обращения: 28.02.2023).

¹⁴ Heath A., Olson M. Mark Zuckerberg on Mind Reading, Apple and the Race to Mainstream VR [Электронный ресурс] // The information. 8 May, 2021. URL: <https://www.theinformation.com/articles/mark-zuckerberg-on-mind-reading-apple-and-the-race-to-mainstream-vr> (дата обращения: 28.02.2023).

¹⁵ Черникова А. Дополненная реальность: три перспективы [Электронный ресурс] // Look at Me. 18 июня, 2013. URL: <http://www.lookatme.ru/mag/industry/industry-research/193763> (дата обращения: 28.02.2023).



Список использованных источников

- [1] Волюнов М. М., Китов А. А., Горячкин Б. С. Виртуальная реальность: виды, структура, особенности, перспективы развития // E-Scio. 2020. № 5(44). С. 795-812. EDN: СТЧНСТ
- [2] Иванова А. В. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2018. № 3(106). С. 88-107. EDN: VJUZMC
- [3] Григорьева И. В., Гергоков А. А. Проблемы внедрения и использования технологий виртуальной реальности (VR) и дополненной реальности (AR) в образовательном процессе (обзор литературы) // Russian Journal of Education and Psychology. 2023. Т. 14, № 1-2. С. 19-25. <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2023-14-1-2-19-25>
- [4] Умаров Х. С. Новые форматы электронной коммерции с использованием иммерсивных технологий: перспективы и проблемы интеграции // Экономический анализ: теория и практика. 2022. Т. 21, № 9(528). С. 1705-1731. <https://doi.org/10.24891/ea.21.9.1705>
- [5] Александрова Л. Д. Опыт философского осмысления «дополненной реальности» в онтологическом континууме «виртуальность – реальность» // Вестник Челябинской государственной академии культуры и искусств. 2014. № 4(40). С. 59-63. EDN: TETEVР
- [6] A Review of Extended Reality (XR) Technologies in the Future of Human Education: Current Trend and Future Opportunity / A. Alnagrati [et al.] // Journal of Human Centered Technology. 2022. Vol. 1, no. 2. P. 81-96. <https://doi.org/10.11113/humentech.v1n2.27>
- [7] Augmented Reality and Virtual Reality Displays: Perspectives and Challenges / T. Zhan [et al.] // iScience. 2020. Vol. 23, issue 8. Article number: 101397. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101397>
- [8] Coban M., Bolat Y. I., Goksu I. The potential of immersive virtual reality to enhance learning: A meta-analysis // Educational Research Review. 2022. Vol. 36. Article number: 100452. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100452>
- [9] Inclusive Augmented and Virtual Reality: A Research Agenda / C. Creed [et al.] // International Journal of Human-Computer Interaction. 2023. <https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2247614>
- [10] Real-Time Motion Tracking for Mobile Augmented/Virtual Reality Using Adaptive Visual-Inertial Fusion / W. Fang [et al.] // Sensors. 2017. Vol. 17, issue 5. Article number: 1037. <https://doi.org/10.3390/s17051037>
- [11] The rise of 5G technologies and systems: A quantitative analysis of knowledge production / S. Mendonça [et al.] // Telecommunications Policy. 2022. Vol. 46, issue 4. Article number: 102327. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102327>
- [12] Rzepa H. S. Science and the Internet: The World-Wide Web // Science Progress. 1996. Vol. 79, no. 2. p. 97-117. URL: <http://www.jstor.org/stable/43421607> (дата обращения: 28.02.2023).
- [13] Naughton J. The evolution of the Internet: from military experiment to General Purpose Technology // Journal of Cyber Policy. 2016. Vol. 1, issue 1. p. 5-28. <https://doi.org/10.1080/23738871.2016.1157619>
- [14] Extended Reality (XR) Engines for Developing Gamified Apps and Serious Games: A Scoping Review / H. Marín-Vega [et al.] // Future Internet. 2023. Vol. 15, issue 12. Article number: 379. <https://doi.org/10.3390/fi15120379>
- [15] A systematic review of extended reality (XR) for understanding and augmenting vision loss / J. Kasowski [et al.] // Journal of Vision. 2023. Vol. 23, no. 5. Article number: 5. <https://doi.org/10.1167/jov.23.5.5>
- [16] Бойченко И. В., Лежанкин А. В. Дополненная реальность: состояние, проблемы и пути решения // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2010. № 1-2(21). С. 161-165. EDN: МТННТТ
- [17] Pedagogical design in education using augmented reality: a systematic review / S. G. Parga [et al.] // Interactive Learning Environments. 2023. <https://doi.org/10.1080/10494820.2023.2195445>
- [18] Extended Reality in Spatial Sciences: A Review of Research Challenges and Future Directions / A. Çöltekin [et al.] // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2020. Vol. 9, issue 7. Article number: 439. <https://doi.org/10.3390/ijgi9070439>
- [19] Шиповская Л. П. Виртуальная реальность. Потребность в новых информационных технологиях // Сервис plus. 2010. № 4. С. 36-45. EDN: МХSMVX
- [20] Яковлев Б. С., Пустов С. И. История, особенности и перспективы технологии дополненной реальности // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. № 3. С. 479-484. EDN: MWPJML
- [21] Harwood S., Eaves S. Conceptualising technology, its development and future: The six genres of technology // Technological Forecasting and Social Change. 2020. Vol. 160. Article number: 120174. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120174>
- [22] Information Visualization (IV) Application for Information Acquisition based on Visual Perception / N. Fabil [et al.] // Creative Education. 2012. Vol. 3. P. 86-89. <https://doi.org/10.4236/ce.2012.38B019>
- [23] Rauschnabel P. A. A Conceptual Uses & Gratification Framework on the Use of Augmented Reality Smart Glasses // Augmented Reality and Virtual Reality. Progress in IS ; ed. by T. Jung, M. tom Dieck. Cham : Springer, 2018. P. 211-227. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64027-3_15
- [24] Navigation in Indoor Environments: Does the Type of Visual Learning Stimulus Matter? / D. Snopková [et al.] // ISPRS International Journal of Geo-Information. 2019. Vol. 8, issue 6. Article number: 251. <https://doi.org/10.3390/ijgi8060251>
- [25] Situated Analytics: Demonstrating immersive analytical tools with Augmented Reality / N. A. M. ElSayed [et al.] // Journal of Visual Languages & Computing. 2016. Vol. 36. p. 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2016.07.006>

Поступила 28.02.2023; одобрена после рецензирования 19.04.2023; принята к публикации 20.05.2023.



Об авторах:

Дорохин Виктор Александрович, аспирант, старший преподаватель кафедры распределенных и вычислительных систем института системного анализа и управления, ГБОУ ВО Московской области «Университет «Дубна» (141982, Российская Федерация, Московская область, г. Дубна, ул. Университетская, д. 19), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5283-614X>, victor.doroh@gmail.com

Теряев Лев Николаевич, аспирант, ассистент кафедры распределенных и вычислительных систем института системного анализа и управления, ГБОУ ВО Московской области «Университет «Дубна» (141982, Российская Федерация, Московская область, г. Дубна, ул. Университетская, д. 19), ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3188-7616>, ttrchik228@gmail.com

Зорин Роман Анатольевич, аспирант института системного анализа и управления, ГБОУ ВО Московской области «Университет «Дубна» (141982, Российская Федерация, Московская область, г. Дубна, ул. Университетская, д. 19), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9697-7849>, zorin@uni-dubna.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Volynov M.M., Kitov A.A., Goryachkin B.S. *Virtual'naja real'nost': vidy, struktura, osobennosti, perspektivy razvitija* [Virtual reality: types, structure, features, development prospects]. *E-Scio*. 2020;(5):795-812. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: CTCHCT
- [2] Ivanova A.V. VR & AR Technologies: Opportunities and Application Obstacles. *Strategic decisions and risk management*. 2018;(3):88-107. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: VJUJMC
- [3] Grigoryeva I.V., Gergokov A.A. Problematic implementation and use of technological virtual reality (VR) and augmented reality (AR) in the educational process (review literature). *Russian Journal of Education and Psychology*. 2023;14(1-2):19-25. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.12731/2658-4034-2023-14-1-2-19-25>
- [4] Umarov H.S. New e-commerce formats using immersive technologies: Prospects and problems of integration. *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2022;21(9):1705-1731. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.24891/ea.21.9.1705>
- [5] Alexandrova L.D. Experience of philosophical judgment on "Augmented Reality" in "Virtuality – Reality" ontological continuum. *Herald of the Chelyabinsk State Academy of Culture and Arts*. 2014;(4):59-63. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: TETEVR
- [6] Alnagrat A., Che Ismail R., Syed Idrus S.Z., Abdulhafith Alfaqi R.M. A Review of Extended Reality (XR) Technologies in the Future of Human Education: Current Trend and Future Opportunity. *Journal of Human Centered Technology*. 2022;1(2):81-96. <https://doi.org/10.11113/humentech.v1n2.27>
- [7] Zhan T., Yin K., Xiong J., He Z., Wu S.-T. Augmented Reality and Virtual Reality Displays: Perspectives and Challenges. *iScience*. 2020;23(8):101397. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2020.101397>
- [8] Coban M., Bolat Y.I., Goksu I. The potential of immersive virtual reality to enhance learning: A meta-analysis. *Educational Research Review*. 2022;36:100452. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100452>
- [9] Creed C., Al-Kalbani M., Theil A., Sarcar S., Williams I. Inclusive Augmented and Virtual Reality: A Research Agenda. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 2023. <https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2247614>
- [10] Fang W., Zheng L., Deng H., Zhang H. Real-Time Motion Tracking for Mobile Augmented/Virtual Reality Using Adaptive Visual-Inertial Fusion. *Sensors*. 2017;17(5):1037. <https://doi.org/10.3390/s17051037>
- [11] Mendonça S., Damásio B., de Freitas L.C., Oliveira L., Cichy M., Nicita A. The rise of 5G technologies and systems: A quantitative analysis of knowledge production. *Telecommunications Policy*. 2022;46(4):102327. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2022.102327>
- [12] Rzepa H.S. Science and the Internet: The World-Wide Web. *Science Progress*. 1996;79(2):97-117. Available at: <http://www.jstor.org/stable/43421607> (accessed 28.02.2023).
- [13] Naughton J. The evolution of the Internet: from military experiment to General Purpose Technology. *Journal of Cyber Policy*. 2016;1(1):5-28. <https://doi.org/10.1080/23738871.2016.1157619>
- [14] Marín-Vega H., Alor-Hernández G., Bustos-López M., López-Martínez I., Hernández-Chaparro N.L. Extended Reality (XR) Engines for Developing Gamified Apps and Serious Games: A Scoping Review. *Future Internet*. 2023;15(12):379. <https://doi.org/10.3390/fi15120379>
- [15] Kasowski J., Johnson B.A., Neydavood R., Akkaraju A., Beyeler M. A systematic review of extended reality (XR) for understanding and augmenting vision loss. *Journal of Vision*. 2023;23(5):5. <https://doi.org/10.1167/jov.23.5.5>
- [16] Boychenko I.V., Lezhankin A.V. *Dopolnennaja real'nost': sostojanie, problemy i puti reshenija* [Augmented reality: State, problems and solutions]. *Proceedings of the TUSUR University*. 2010;(1-2):161-165. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: MTHNTT
- [17] Parga S.G., Singh U., Gutierrez J., Marks S. Pedagogical design in education using augmented reality: a systematic review. *Interactive Learning Environments*. 2023. <https://doi.org/10.1080/10494820.2023.2195445>
- [18] Çöltekin A., Lochhead I., Madden M., Christophe S., Devaux A., Pettit C., Lock O., Shukla S., Herman L., Stachon Z., et al. Extended Reality in Spatial Sciences: A Review of Research Challenges and Future Directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2020;9(7):439. <https://doi.org/10.3390/ijgi9070439>
- [19] Shipovskaya L.P. Virtual Reality (Need for New Information Technologies). *SERVICE plus*. 2010;(4):36-45. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: MXSMVX



- [20] Yakovlev B.S., Pustov S.I. History, Features and Prospects of Augmented Reality. *News of the Tula state university. Technical sciences.* 2013;(3):479-484. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: MWPJML
- [21] Harwood S., Eaves S. Conceptualising technology, its development and future: The six genres of technology. *Technological Forecasting and Social Change.* 2020;160:120174. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120174>
- [22] Fabil N., Ismail Z., Shukur Z., Noah S., Salim J. Information Visualization (IV) Application for Information Acquisition based on Visual Perception. *Creative Education.* 2012;3:86-89. <https://doi.org/10.4236/ce.2012.38B019>
- [23] Rauschnabel P.A. A Conceptual Uses & Gratification Framework on the Use of Augmented Reality Smart Glasses. In: Jung T., tom Dieck M. (eds.) *Augmented Reality and Virtual Reality. Progress in IS.* Cham: Springer; 2018. p. 211-227. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64027-3_15
- [24] Snopková D., Švedová H., Kubíček P., Stachoň Z. Navigation in Indoor Environments: Does the Type of Visual Learning Stimulus Matter? *ISPRS International Journal of Geo-Information.* 2019;8(6):251. <https://doi.org/10.3390/ijgi8060251>
- [25] ElSayed N.A.M., et al. Situated Analytics: Demonstrating immersive analytical tools with Augmented Reality. *Journal of Visual Languages & Computing.* 2016;36:13-23. <https://doi.org/10.1016/j.jvlc.2016.07.006>

Submitted 28.02.2023; approved after reviewing 19.04.2023; accepted for publication 20.05.2023.

About the authors:

Victor A. Dorokhin, Postgraduate student, senior lecturer of the Department of Distributed and Computing Systems, Institute of System Analysis and Management, Dubna State University (19 Universitetskaya St., Dubna 141980, Moscow Region, Russian Federation), **ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5283-614X>**, victor.doroh@gmail.com

Lev N. Teryaev, Postgraduate student of the of the Department of Distributed and Computing Systems, Institute of System Analysis and Management, Dubna State University (19 Universitetskaya St., Dubna 141980, Moscow Region, Russian Federation), **ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-3188-7616>**, ttrchik228@gmail.com

Roman A. Zorin, Postgraduate student of the Institute of System Analysis and Management, Dubna State University (19 Universitetskaya St., Dubna 141980, Moscow Region, Russian Federation), **ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9697-7849>**, zorin@uni-dubna.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

