

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.119>

УДК 004.946

## ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ И ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

**Полевода И.И., Иваницкий А.Г., Миканович А.С., Пастухов С.М., Грачулин А.В.,  
Рябцев В.Н., Навроцкий О.Д., Лихоманов А.О., Винярский Г.В., Гусаров И.С.**

*Цель.* Выполнить сбор и анализ научно-технической информации в области использования технологий виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности в образовательном процессе, в частности при подготовке спасателей-пожарных.

*Методы.* Общая методология работы предусматривала использование теоретических методов исследования (анализ, синтез, сравнение).

*Результаты.* Проведен сбор и анализ научно-технической информации в области использования виртуальных технологий в образовательном процессе. Рассмотрены общие сведения о VR/AR-технологиях, в частности история их создания, основные области применения, а также технические элементы и устройства, используемые для реализации данных технологий в различных сферах деятельности человека. Рассмотрены направления и способы использования виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе, приведены примеры применяемых за рубежом учебно-программно-аппаратных комплексов, тренажеров и платформ для различных направлений образования, а также проанализированы исследования эффективности применения данных технологий в сфере образования в целом. Рассмотрены и проанализированы виртуальные технологии, применяемые для обучения спасателей-пожарных как на территории Беларуси, так и за рубежом.

*Область применения исследований.* Результаты обзора и анализа сведений о применении технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе могут быть в дальнейшем использованы при разработке VR/AR-тренажеров для подготовки спасателей-пожарных.

*Ключевые слова:* виртуальная реальность, дополненная реальность, тренажер, имитация физических воздействий, аварийно-спасательные работы, спасатель, пожарный.

(Поступила в редакцию 10 января 2022 г.)

### **Введение**

Актуальность рассматриваемого направления обусловлена быстрым развитием технологий виртуальной и дополненной реальности и их активным применением в образовании и во всех областях инженерии и технологии.

Виртуальная реальность (VR, от англ. Virtual Reality) – это искусственный мир, созданный техническими средствами, взаимодействующий с человеком через его органы чувств. Использование виртуальной реальности охватывает собой целый ряд задач при создании реалистичных тренажеров для подготовки специалистов в областях, где тренировки на реальных объектах связаны с неоправданно большими рисками либо требуют значительных финансовых затрат. Так, технологии виртуальной реальности незаменимы при подготовке спасателей, пилотов, инженеров, архитекторов и других узконаправленных специалистов.

Дополненной реальностью (AR, от англ. Augmented Reality) можно назвать неполное погружение человека в виртуальный мир, когда на реальную картину мира накладывается дополнительная информация в виде виртуальных объектов. В современном мире дополненная реальность может стать хорошим помощником как в повседневной жизни, так и в профессиональной деятельности.

В последние годы технологии виртуальной и дополненной реальности переживают второе рождение. Стремительно расширяющийся рынок устройств виртуальной и допол-

ненной реальности, а также специализированного программного обеспечения открывает новые возможности в том числе в образовательной сфере. По этой причине насущной задачей является адаптация технологий виртуальной и дополненной реальности под конкретные направления деятельности, в частности для использования в образовательном процессе при подготовке специалистов аварийно-спасательных служб.

## Основная часть

### Общие сведения о технологиях виртуальной и дополненной реальности

Модель смешанной (гибридной) реальности, или виртуального континуума (рис. 1), впервые описана в 1994 г. [1]. Смешанная реальность определена как система, в которой объекты реального и виртуального миров сосуществуют и взаимодействуют в реальном времени, в рамках виртуального континуума. Промежуточными звеньями в этой модели являются дополненная реальность и дополненная виртуальность. Дополненная реальность ближе к реальному миру, а дополненная виртуальность – ближе к виртуальному.

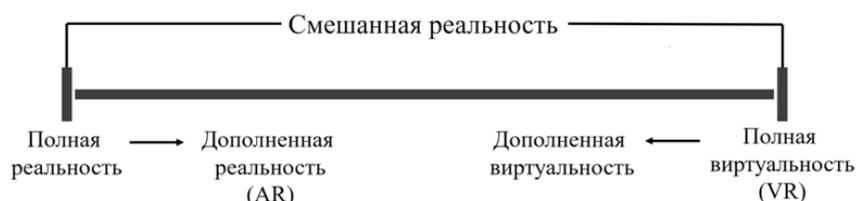


Рисунок 1. – Упрощенное представление виртуального континуума [1]

Авторы выделили основные элементы модели [1]:

- 1) полная реальность – привычный мир, который нас окружает;
- 2) виртуальная реальность – цифровой мир, полностью созданный с помощью современных компьютерных технологий;
- 3) дополненная реальность – реальный мир, который дополняется виртуальными элементами и сенсорными данными;
- 4) дополненная виртуальность – виртуальный мир, который дополняется физическими элементами реального мира.

В настоящем исследовании рассматриваются, прежде всего, дополненная реальность и виртуальная реальность. Принципиальное различие между ними состоит в том, что виртуальная реальность конструирует цифровой мир, полностью ограничивая доступ пользователя к реальному миру, а дополненная реальность лишь добавляет элементы цифрового мира в реальный, видоизменяя пространство вокруг пользователя [2].

В виртуальной реальности среда создается посредством комплексного воздействия на его восприятие с использованием шлемов виртуальной реальности или иных технических средств, которые динамически обновляют видимое пользователем пространство [2].

В человеческом мозге нейроны реагируют на виртуальные элементы так же, как и на элементы реального мира. Поэтому человек воспринимает виртуальную среду и реагирует на происходящие внутри виртуального мира события точно так же, как на имеющие место в реальности [3].

Принято считать, что развитие виртуальной реальности началось в 50-е годы прошлого века. В 1961 г. компания Philco Corporation разработала первые шлемы виртуальной реальности Headsight (рис. 2) для военных целей, и это стало первым применением технологии в реальной жизни. В шлеме использовались небольшие экраны с катодной трубкой, по одному для каждого глаза, и магнитные датчики для определения положения головы. Целью проекта было наблюдение за условиями в другой комнате с помощью перемещения удаленно расположенной камеры и передвижения головой. Опираясь на сегодняшнюю классификацию, систему Headsight все же следует отнести к AR-технологиям.

Отцом виртуальной реальности по праву считается М. Хейлиг. В 1962 г. он запатентовал первый в мире виртуальный симулятор под названием Sensorama<sup>1</sup> (рис. 3). Аппарат представлял собой громоздкое устройство, способное осуществлять погружение в виртуальную реальность с помощью трехмерной пленки, визуальных стимулов, вибраций, звуков, ветра и даже запахов.

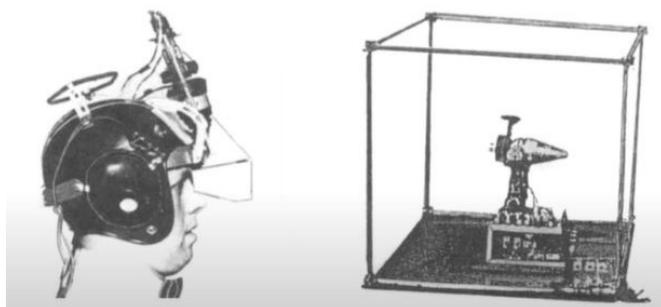


Рисунок 2. – Первый шлем виртуальной реальности Headsight (1961)<sup>2</sup>



Рисунок 3. – Первый виртуальный симулятор Sensorama (1962)<sup>3</sup>

Через несколько лет после М. Хейлига похожее устройство представили А. Сазерленд и Б. Спраулл. Это была первая система виртуальной реальности на основе головного дисплея под названием The Sword of Damocles (рис. 4). Очки крепились к потолку и через ЭВМ транслировалась картинка. Несмотря на столь громоздкое изобретение, технологией заинтересовались Центральное разведывательное управление США (ЦРУ) и Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА).

В 1980-е гг. компания VPL Research разработала более современное оборудование для виртуальной реальности – очки EyePhone и перчатку DataGlove (рис. 5). Компанию создал Дж. Ланье – талантливый изобретатель, поступивший в университет в 13 лет. Именно он придумал термин «виртуальная реальность».



Рисунок 4. – Первая система виртуальной реальности The Sword of Damocles на основе головного дисплея<sup>4</sup>



Рисунок 5. – Очки EyePhone и перчатка DataGlove от компании VPL Research<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Sensorama simulator [Электронный ресурс]: пат. US 3050870 A / M.L. Heilig. – Дата публ. 28.08.1979. – Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/US3050870A/en>. – Дата доступа: 15.01.2022.

<sup>2</sup> Краткая история VR: часть первая – ранние концепции и первые шаги от 1930-х до 1960-х [Электронный ресурс] / Хабр. Сообщество IT-специалистов. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/pult/blog/517050/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

<sup>3</sup> См. сноску 2.

<sup>4</sup> См. сноску 2

Дополненная реальность шла рука об руку с виртуальной вплоть до 1990 г., когда ученый Т. Коделл впервые предложил термин «дополненная реальность». В 1992 г. Л. Розенберг разработал одну из самых ранних функционирующих систем дополненной реальности для Военно-воздушных сил Соединенных Штатов Америки. Экзоскелет Л. Розенберга позволял военным виртуально управлять машинами, находясь в удаленном центре управления (рис. 6). В 1994 г. Ж. Мартин создала первую дополненную реальность в театре под названием «Танцы в киберпространстве» – постановку, в которой акробаты танцевали в виртуальном пространстве.

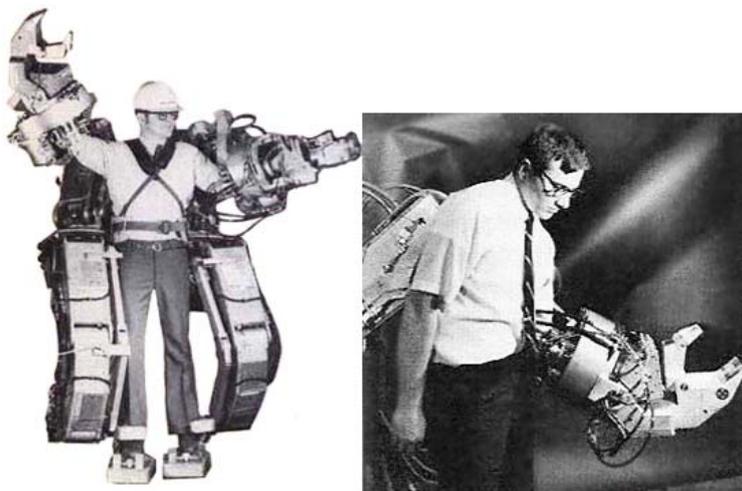


Рисунок 6. – Экзоскелет Л. Розенберга

В 1990-х гг. были и другие интересные открытия, например, австралийка Дж. Мартин соединила виртуальную реальность с телевидением. Тогда же начались разработки игровых платформ с использованием технологий виртуальной реальности. В 1993 г. компания Sega разработала консоль Genesis. На демонстрациях и предварительных показах, однако, все и закончилось. Игры с Sega VR сопровождали головные боли и тошнота, поэтому устройство не вышло в продажу. Высокая стоимость девайсов, скудное техническое оснащение и побочные эффекты вынудили людей на некоторое время забыть о технологиях VR и AR.

В 2000 г. благодаря дополнению с технологиями AR в игре Quake появилась возможность преследовать чудовищ по настоящим улицам. Однако играть можно было, лишь вооружившись виртуальным шлемом с датчиками и камерами, что не способствовало популярности игры, но стало предпосылкой для появления известной ныне Pokemon Go.

Настоящий бум начался только в 2012 г. Стартап Oculus запустил кампанию по сбору средств на выпуск шлема виртуальной реальности. Спустя три с половиной года начались продажи первого серийного потребительского шлема виртуальной реальности Oculus Rift CV1, что стало символическим началом бума VR-технологий и активного роста инвестиций в данную отрасль.

**Использование виртуальной и дополненной реальности.** Виртуальная реальность – отрасль, в которой инфраструктура и технологии развиваются параллельно с развитием контента. Поэтому можно обозначить несколько основных направлений развития отрасли в зависимости от контента и сферы применения: игровая индустрия, кинематограф, спортивные трансляции и шоу, социальные сети, маркетинговая индустрия, образование, медицина, торговля и недвижимость, промышленность (в частности, военная).

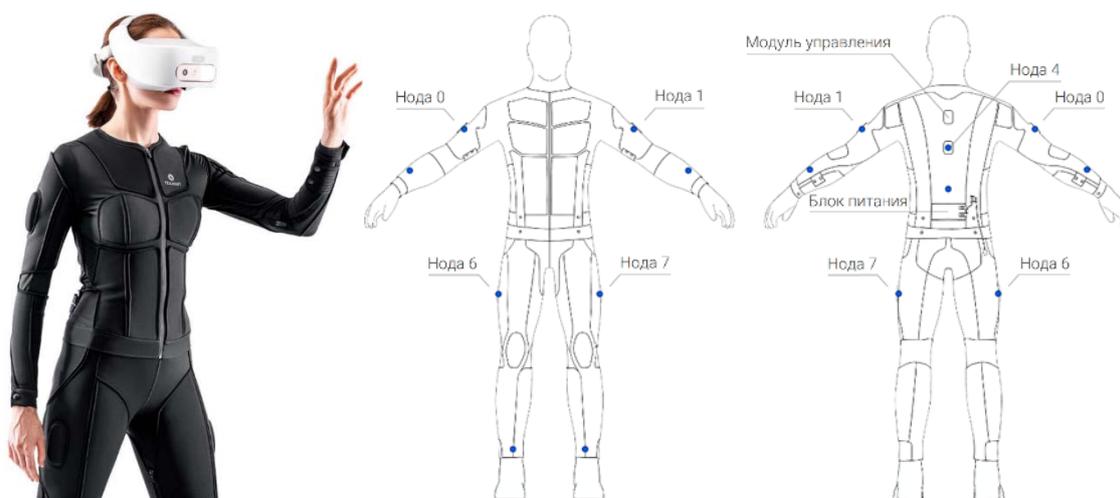
<sup>5</sup> 5 самых первых гаджетов виртуальной реальности – с чего все начиналось [Электронный ресурс] / xChip.ru – мир гаджетов и технологий. – Режим доступа: <https://xchip.ru/2021/10/21/5-pervyx-gadzhetov-virtualnoj-realnosti/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

Как уже было отмечено, разработки AR- и VR-технологий начались в первую очередь для применения их в военных целях. На данный момент эти технологии начинают активно применяться не только в военном деле, но и в других областях. Например, в работе [4] исследована эффективность современных методов VR для лечения психических заболеваний, в частности тревожных неврозов и фобий. В работе [5] разработан метод лечения депрессии с помощью виртуальной реальности, также экспериментально подтверждена его эффективность.

Понятия и концепции виртуальной и дополненной реальности не претерпели радикальных изменений за последние 30 лет, однако сами технологии идут большими шагами вперед. Технологии дополненной и виртуальной реальности прошли значительный эволюционный путь как в плане совершенствования аппаратно-программного обеспечения, так и контента.

**Устройства виртуальной реальности.** К предметам VR относятся все устройства, используемые для погружения в виртуальный мир. К ним относятся: костюмы виртуальной реальности, шлемы и очки виртуальной реальности, перчатки виртуальной реальности, комнаты виртуальной реальности и иные устройства.

Костюм виртуальной реальности – устройство, позволяющее человеку погрузиться в мир виртуальной реальности (рис. 7). Костюм полностью изолирует от внешнего мира. Внутри него, как правило, находятся видеозеркало, многоканальная акустическая система и электронные устройства тактильной обратной связи, воздействующие на нервные окончания кожи, создавая имитацию прикосновений или, например, дующего ветра, захвата движения, считывания биометрических данных и др.



Нода – локальный модуль, управляющий работой тактильной обратной связи, захвата движения и биометрии в определенной области тела

**Рисунок 7. – Костюм виртуальной реальности Teslasuit<sup>6</sup>**

Построение систем VR с использованием данных костюмов требует значительных затрат. По этой причине для частичного погружения в виртуальное пространство обычно используют шлемы, очки и перчатки виртуальной реальности.

В шлеме VR перед глазами пользователя расположены два дисплея, шторы защищают от попадания внешнего света, предусмотрены стереонаушники, встроенные акселерометры и датчики положения [2]. На дисплеях транслируются немного смещенные друг относительно друга стереоскопические изображения, обеспечивая реалистичное восприятие трехмерной среды. В большинстве своем продвинутые шлемы виртуальной реальности

<sup>6</sup> TESLASUIT [Электронный ресурс] / Full body haptic feedback & motion capture tracking VR suit – TESLASUIT. – Режим доступа: <https://teslasuit.io/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

довольно громоздкие, но в последнее время появляются упрощенные легкие варианты, которые обычно предназначены для смартфонов с приложениями виртуальной реальности.

Шлемы VR можно разделить на три типа [2]:

1) настольные шлемы подключаются к компьютеру (HTCVive, OculusRift) или консолям (Playstation VR), требуют высокой мощности аппаратных средств;

2) дешевые мобильные гарнитуры работают в связке со смартфонами, менее требовательные и громоздкие, чем компьютерные, представляют собой держатель для смартфона с линзами (Samsung Gear VR, Google Cardboard, YesVR);

3) автономные очки виртуальной реальности – самостоятельные устройства, работают под управлением специальных или адаптированных операционных систем, обработка изображения происходит непосредственно в самом шлеме (OculusGo, Oculus Quest, HTC Vive Focus, Sulong, DeePoon, AuraVisor).

Комнаты виртуальной реальности (Cave Automatic Virtual Environment). В таких комнатах изображения транслируются непосредственно на стены (рис. 8), чаще всего это Motion Parallax 3D-дисплеи. С помощью данных дисплеев у пользователя формируется иллюзия объемного предмета, поскольку на экране отображается специальная проекция виртуального объекта, сгенерированная в зависимости от положения пользователя относительно экрана. Считается, что такой вид виртуальной реальности более совершенен, т.к. дисплеи позволяют отображать виртуальные элементы в более высоком разрешении, нет необходимости надевать громоздкие устройства и путаться в проводах, отсутствует эффект укачивания, упрощается самоидентификация, потому что пользователь постоянно видит себя. При дополнительном использовании костюма и перчаток VR создается максимальный эффект погружения в происходящее за счет трекинга головы и всего тела в объеме комнаты. Например, игровой центр квестов ExitGames в Москве запустил первую в России комнату виртуальной реальности на основе технологий, разработанных HTC Vive. Игра длится 60 мин, одновременно участвовать могут 5 человек. Подобные комнаты используются в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова в целях проведения научных экспериментов.

К иным устройствам VR можно отнести различные ножные платформы (3DRudder) и беговые дорожки (VirtuixOmni). Пользователь имеет возможность контролировать движения своих ног, а в случае с дорожками – даже перемещаться в пространстве, не опасаясь столкнуться с препятствиями в реальном мире (рис. 9).



Рисунок 8. – Комната виртуальной реальности



Рисунок 9. – Применение беговой дорожки виртуальной реальности

**Устройства дополненной реальности.** Умные очки и шлемы. С помощью технологии компьютерного зрения автономные и компактные устройства со встроенными датчи-

ками и камерами позволяют анализировать пространство вокруг пользователя, формировать карту пространства для ориентирования в ней.

Большинство очков оснащено функцией распознавания голоса и движений, ими можно управлять, не используя рук. Изображения проецируются на линзы очков или специальные мини-дисплеи, поэтому нет необходимости в дополнительных элементах для генерации контента. Различают бинокулярные (Hololens, DAQRISmartGlasses, Meta 2) и монокулярные (GoogleGlass, Vuzix M3000) модели очков и шлемов.

**Мобильные устройства.** Практически любой современный смартфон или планшет может стать устройством дополненной реальности, достаточно лишь установить соответствующую программу. Для распознавания объектов чаще всего применяется маркерная технология, маркерами могут выступать QR-коды, сгенерированные точки, логотипы, компьютерное зрение и распознавание лиц.

**Интерактивные стенды и киоски, проецируемые в дополненной реальности.** Инструмент широко используется в сфере продаж, на различных выставках. Стенды и киоски представляют собой широкоформатные экраны, позволяющие отображать фотореалистично визуализированные объекты в определенном контексте (например, демонстрация определенных функций продукта), просматривать информацию в интерактивном режиме. Изображение накладывается на любую поверхность (объект).

Таким образом, видно, что на сегодня рынок технологий дополненной и виртуальной реальности находится на первых этапах своего становления, но развивается стремительно и многообещающе. Данные технологии охватывают все большее количество сфер человеческой деятельности. Отдельно стоит подчеркнуть внедрение технологий дополненной и виртуальной реальности в образовательный процесс, что позволит существенно повысить качество обучения за счет возможности практической отработки навыков практически любых профессий в условиях, максимально приближенных к реальным.

### Применение технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе

В процессе обучения усвоение материала зависит от степени вовлеченности обучающегося. Неоднократно исследователями установлено, что человек лучше запоминает многократно повторяемую информацию, воздействующую на несколько органов чувств [6]. При этом согласно разработанной американскими учеными Р. Карникау и Ф. Макэлроу модели «Пирамида обучения» (рис. 10) именно практическая отработка навыков и знаний соответствует наивысшему значению показателя запоминания.



Рисунок 10. – Пирамида обучения Р. Карникау и Ф. Макэлроу

Любой визуальный материал помогает сфокусировать внимание обучающегося. Представление сложных процессов в виде совокупности простых элементов, графиков или диаграмм упрощает их понимание. Совместное обсуждение позволяет изучить проблему

с разных точек зрения, а активное участие помогает запомнить важные детали за счет многократного повторения информации.

По мнению Р. Карникау и Ф. Макэлроу, самыми лучшими способами усвоения материала являются обучение других людей или применение полученных знаний в практической деятельности. Как правило, в учебных заведениях для применения теоретических знаний используются лабораторные работы, производственные практики и другие формы учебной деятельности. Но, к сожалению, на практике обучающиеся сталкиваются с определенными трудностями, связанными с техническими, материальными ограничениями, которые не предполагают полноценного эксперимента. Например, ограниченный бюджет не позволяет иметь дорогостоящее оборудование и поддерживать его в приемлемом состоянии, достаточном для проведения эксперимента.

Специфика некоторых видов деятельности предполагает высокий уровень компетенции исполнителя и связана с высоким риском для здоровья. В частности, обучающийся может не получить допуск к технологической установке в связи с рисками по технике безопасности, ведь он не обладает необходимыми навыками ее эксплуатации. Кроме того, примером может являться и профессия спасателей, когда создать условия на площадках для отработки аварийно-спасательных работ, приближенные к реальным в чрезвычайных ситуациях, не представляется возможным либо экономически не выгодно.

В таком случае решением может быть применение технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе. Данные технологии позволяют создавать как реальные, так и вымышленные сценарии с учетом свойств и особенностей поведения объектов, что открывает широкие возможности ее применения в сфере образования.

Использование виртуальной и дополненной реальности имеет смысл, когда альтернативные методы являются трудновыполнимыми, неэффективными или затратными. Кроме того, существует еще несколько аргументов в пользу использования VR/AR-технологий в образовании.

Трехмерная графика дает возможность наглядно смоделировать сложные процессы с необходимой детализацией [7]. Также можно ускорить или замедлить скорость протекания процесса. Точность и достоверность моделирования в виртуальной реальности ограничена лишь вычислительной мощностью и научными познаниями о моделируемом процессе или явлении.

Устройство виртуальной реальности можно использовать в качестве тренажера для отработки сложных и опасных элементов без риска для здоровья пользователя, например, тушение пожаров в высотных зданиях или оказание медицинской помощи пострадавшему.

Интерактивность и эффект полного погружения дают возможность проведения занятий в режиме виртуальной и дополненной реальности, что совместимо с дистанционным обучением [7].

Любой созданный виртуальный объект или процесс можно воспроизводить и использовать неограниченное количество раз без существенных материальных и временных затрат. На их производство и использование могут накладываться лицензионные ограничения авторских и смежных прав. Но всегда есть возможность создания и публикации материалов под свободной и открытой лицензией. Созданная виртуальная модель или тренажер не заменяет реальный объект или процесс, но позволяет подготовиться к реальной ситуации с максимально возможной детализацией [7].

Технологии виртуальной и дополненной реальности в последние годы приобрели характер высокой востребованности в области высшего образования. Проекты виртуального моделирования реальности активно внедряются в учебный процесс в зарубежной и отечественной высшей школе.

Наиболее активные VR/AR-разработки на данный момент ведутся в сфере медицины. Например, на рынке уже имеются виртуальные симуляторы с тактильной обратной связью для хирургов и стоматологов от компании Osso VR (рис. 11), которые позволяют отта-

чивать навыки в широком спектре процедур<sup>7</sup>. Для этого обучающемуся необходимо взять два наконечника-манипулятора и надеть очки VR. Затем можно отрабатывать навыки на виртуальном пациенте. В итоге специальное программное обеспечение предоставляет аналитические сведения, которые можно проанализировать для совершенствования навыка.



**Рисунок 11. – Виртуальные симуляторы с тактильной обратной связью для хирургов и стоматологов от компании Osso VR<sup>8</sup>**

Авторы работ [8; 9] на основе анализа внедрения и использования VR/AR-технологий в медицине заключили, что дополненная реальность становится все более известной и набирает обороты в медицинском образовании, в частности благодаря новым разработкам от Google (Google Glass) и Microsoft (Microsoft HoloLens<sup>9</sup>). Например, в 2018 г. канадской компанией CAE разработан и представлен симулятор LucinaAR, который призван помочь акушерам отработать технику приема родов при различных вариантах родовых осложнений. Симулятор представляет собой детальные манекены младенца и матери, а также AR-очки HoloLens от Microsoft, которые помогают увидеть движение плода и оценить правильность выполняемых действий. Авторы [8] отмечают, что дополненная реальность не только помогает в обучении студентов, но и может повлиять на уход за пациентами благодаря повышению качества медицинской подготовки.

Также в работе [10] описана технология проекционного картографирования в модели дополненной реальности Augmented Studio, которая позволяет отображать движения скелета и мышц человеческого тела в режиме реального времени. В результате исследований эффективности применения Augmented Studio на практике авторы [10] отметили, что данная технология способствует активному вовлечению в процесс обучения и облегчению коммуникации между преподавателями и студентами.

В 2017 г. в работе [11] на основе обзора и анализа научной литературы по исследованию VR/AR-технологий, применяемых в хореографии, показано, что на данный момент наиболее передовой AR-технологией является технология компьютерного зрения на основе сенсоров AR Kinect от Microsoft, которая предоставляет новые возможности для изучения танцевальных движений и расширения обучающих техник хореографии. В частности, авторы [11] предполагают, что последняя версия Kinect V2 от Microsoft для обучения танцам даже может использоваться в качестве футуристического виртуального педагога.

В исследовании [12] рассмотрены возможности технологии дополненной реальности для обучения географии на факультете одного из университетов Турции. Авторы отметили, что AR-технологии могут помочь студентам в изучении абстрактных и сложных предметов. Также результаты исследований показали, что AR повышает успеваемость студентов и снижает уровень их когнитивной нагрузки, а также в целом является полезным инстру-

<sup>7</sup> Виртуальная реальность в стоматологии уже очень даже реальна [Электронный ресурс] / Профессиональный стоматологический портал. – Режим доступа: <https://stomatologclub.ru/stati/stomatologiya-8/virtualnaya-realnost-v-stomatologii-uzhe-ochen-dazhe-realna-2443/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

<sup>8</sup> См. сноску 7.

<sup>9</sup> Microsoft HoloLens [Электронный ресурс] / Zdrav.Expert – Издание о новых технологиях в здравоохранении. – Режим доступа: [https://zdrav.expert/index.php/Продукт:Microsoft\\_Hololens](https://zdrav.expert/index.php/Продукт:Microsoft_Hololens). – Дата доступа: 15.01.2022.

ментом для преподавания географии, особенно геоморфологии. Авторами подчеркивается, что отношение студентов к технологии AR оказалось положительным [12].

Примечательным также является опыт Российской Федерации в направлении использования VR/AR-технологий в образовательном процессе. На базе Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ) и партнерских организаций представлен полный цикл разработки технологий виртуальной, смешанной и дополненной реальности: начиная от математических моделей и изучения физиологических основ, заканчивая аппаратной и программной реализацией. Также в университете разрабатывают симулятор работ на МКС с поверхностью Луны и Марса. Это стенд смешанной реальности, имитирующий элементы лунной и марсианской миссии. В рамках стенда имитируется отработка циклограмм внекорабельной и напланетной деятельности. На данный момент уже сформирован межфакультетский центр компетенций по машинному обучению и виртуальной реальности, а также ведется ряд проектов по внедрению этих технологий в разные сферы деятельности, в том числе в школьное и высшее образование в других вузах. В результате такая активная деятельность привела к появлению магистерской программы на новом факультете космических исследований МГУ, посвященной технологическим основам виртуальной и смешанной реальности<sup>10</sup>.

В Уфимском государственном авиационном техническом университете с 2013 г. функционирует лаборатория трехмерной визуализации<sup>11</sup>, которая представляет собой комнату виртуальной реальности. Лаборатория комплектуется всем необходимым VR-оборудованием и периферией, что позволяет отслеживать взгляд и движения пользователя, а также взаимодействовать с виртуальными объектами. Возможности лаборатории позволяют проводить сложные виртуальные опыты, отрабатывать технологические операции с прототипами систем и механизмами, в том числе при обучении специалистов для опасных или удаленных производств. Ее можно использовать для повышения квалификации специалистов по моделированию, которое достигается в том числе с помощью анализа объектов моделирования. Например, кафедра технологии машиностроения использует для практических занятий по промышленному проектированию комнату виртуальной реальности. За студентом закрепляется определенный участок цеха, на котором нужно разместить оборудование согласно правилам и нормам техники безопасности. Каждый студент вносит вклад в общую модель цеха, которая оценивается отдельно. Таким образом, совместными усилиями студентов можно спроектировать целое предприятие. Лаборатория дает возможность взаимодействовать нескольким специалистам из различных сфер знаний в одном виртуальном окружении.

Кроме того, Российский научный фонд в апреле 2021 г. завершил проект по созданию виртуальных туров по ведущим научным российским лабораториям, в том числе лабораториям вузов. Съемки виртуальных туров стартовали в конце 2017 г. Проект получил название «Наука в формате 360°» и представляет собой ряд сферических панорамных снимков лабораторий вузов и научно-исследовательских институтов России. Благодаря таким виртуальным турам пользователи могут перемещаться по помещениям, рассматривать оборудование, а также получать подробную информацию с помощью текстовых, аудио- и видеовставок<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> Интеллектуальные технологии смешанной реальности для аэрокосмических систем [Электронный ресурс] / Факультет космических исследований Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. – Режим доступа: <https://cosmos.msu.ru/index.php/node/11>. – Дата доступа: 15.01.2022.

<sup>11</sup> Виртуальная реальность в различных сферах ее применения [Электронный ресурс] / Уфимский государственный авиационный технический университет. – Режим доступа: <http://it.ugatu.su/komnata-3d-vizualizaczii.html>. – Дата доступа: 15.01.2022.

<sup>12</sup> РФНФ запустил сайт онлайн-экскурсий в формате 360 градусов по ведущим научным лабораториям страны [Электронный ресурс] / Российский научный фонд. – Режим доступа: [https://www.rscf.ru/news/found/vzglyanite-na-nauku-pod-drugim-uglom/?sphrase\\_id=92483](https://www.rscf.ru/news/found/vzglyanite-na-nauku-pod-drugim-uglom/?sphrase_id=92483). – Дата доступа: 15.01.2022.

Аналогичный подход реализован и в Республике Беларусь. Примером может являться Образовательный центр безопасности жизнедеятельности МЧС (рис. 12), на официальном сайте которого имеется возможность ознакомиться с со всеми обучающими площадками центра с помощью виртуальной экскурсии<sup>13</sup>. Отдельно следует отметить богатую материальную базу данного центра для обучения граждан способам защиты и действиям в условиях чрезвычайных ситуаций. В нем расположено более 30 интерактивных обучающих площадок по транспортной безопасности, безопасности при чрезвычайных ситуациях, гражданской обороны, пожарной и экологической безопасности, а также криминальной безопасности, здорового образа жизни и опасных метеорологических явлений, атомной и радиационной безопасности, промышленной безопасности.

Обучение в центре построено на принципах развлекательной игры. В основу положены методы погружения обучающихся в среду, максимально имитирующую чрезвычайную ситуацию, и углубленного изучения материала за счет повышения эмоционального восприятия моделируемой обстановки. В центре применяются интерактивные тренажеры и симуляторы, созданные на основе современных информационных коммуникационных технологий (виртуальная реальность, дополненная реальность, Интернет вещей, компьютерное зрение и др.). Подобные центры функционируют в Китае и Корее, а в странах СНГ аналоги центров безопасности отсутствуют. Эффективность работы центров безопасности выражается в первую очередь в снижении гибели людей. В частности, в Беларуси за последние 5 лет количество погибших людей снизилось в 1,2 раза, из них детей – в 6 раз<sup>14</sup>.



Рисунок 12. – Образовательный центр безопасности жизнедеятельности МЧС Беларуси

### Эффективность применения VR/AR-технологий в образовательном процессе.

Для обоснования эффективности применения технологии дополненной реальности в образовании в работе [13] в рамках курса информатики были проведены эксперименты с привлечением учащихся. В первом эксперименте исследовалась гипотеза, что использование технологии дополненной реальности на занятии повышает эффективность изучения AR, по сравнению с лекцией об этой технологии. Второй эксперимент проверял гипотезу об эффективности изучения некоторых разделов курса информатики с использованием AR. В результате эксперимента показано, что общий уровень знаний в экспериментальной группе учащихся повысился в среднем на 23,1 % по сравнению с контрольной группой без использования AR-технологий [13].

Компанией Vrarlab проведено исследование эффективности применения виртуальной реальности в образовании, в котором приняли участие более 150 человек. Испытуемые, попадая в виртуальную реальность, наблюдали работающую электрическую цепь с источником

<sup>13</sup> Образовательный центр безопасности жизнедеятельности [Электронный ресурс] / Образовательный центр безопасности жизнедеятельности. – Режим доступа: <https://center.ucp.by/virtual/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

<sup>14</sup> Образовательный центр безопасности МЧС открыли в Минске [Электронный ресурс] / Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://mchs.gov.by/glavnoe/336964/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

тока, далее они попадали внутрь проводника, изучая движение заряженных частиц на атомном уровне, кристаллическую решетку и строение самих атомов. После окончания урока, который длился около 7 мин, испытуемые прошли тесты по изученной тематике. Результаты теста показали, что 92 % людей ответили верно на все вопросы теста, что демонстрирует высокий уровень усвоения знаний [7].

В работе [14] выполнен детальный анализ современных исследований, посвященных применению VR/AR-технологий в сфере образования, что позволило обобщить существующие мнения относительно преимуществ виртуальной и дополненной реальности, их совместимости с образовательными технологиями, а также получаемых выгод. При анализе научных работ и публикаций, связанных с использованием VR/AR в высшем образовании, авторами отмечается высокий потенциал данных технологий по различным направлениям. Например, результаты применения инструментов дополненной реальности для обучения китайскому языку показывают, что AR помогает студентам гораздо быстрее написать свой первый параграф и освоить китайское письмо [15]. При сравнении учебных AR-материалов и образовательного видео на YouTube в рамках освоения курса по разработке программного обеспечения более эффективным оказался AR-контент, его применение помогло повысить интерес студентов и их вовлеченность [16]. Многие другие исследователи также подтверждают мотивацию и вовлеченность студентов, которым предлагается использовать приложения дополненной реальности в процессе обучения [17].

При сравнении технологии AR и методов интерактивной симуляции значительной разницы с точки зрения обучаемости студентов и их вовлеченности не наблюдалось, однако отмечено значительное преимущество AR с точки зрения восприятия информации [18].

В литературе наиболее часто встречаются исследования, посвященные применению AR в сфере послевузовского образования. Примеры из области архитектурного образования говорят в пользу технологий AR [19], такие же выводы делаются для дисциплин естествознания, где динамический контент позволяет лучше осваивать материал [20] и способствует прогрессу исследовательских проектов аспирантов [21]. В точных науках и инженерии AR-технологии способствуют лучшему пространственному восприятию, это подтверждают исследования в области математического образования [22], машиностроения [23]. Системы AR с технологией Kinect успешно применяются в физико-математическом образовании [24]. В гуманитарной сфере использование AR помогает снизить когнитивную нагрузку, повышая при этом мотивацию и позитивный настрой обучающихся [25]. Существуют исследования в области медицинского образования, когда обучение стоматологов с применением мобильного приложения AR стало простым эффективным инструментом передачи знаний [26]. Изучение истории с помощью приложений дополненной реальности открывает большие перспективы как с точки зрения возможностей создания контента, так и позиций эмоциональности и вовлеченности в образовательный процесс [27].

Таким образом, реализация технологий виртуальной и дополненной реальности в сфере образовательных услуг имеет много преимуществ: полная вовлеченность в процесс и фокусировка на предмете по причине полного погружения в зону интереса на все 360°, а также в силу игрового и интерактивного характера коммуникации; неограниченная наглядность, т.е. демонстрация предмета с любой степенью детализации; безопасность обучающихся виртуальных моделей при обучении специальностям, связанным с риском для жизни и здоровья.

Процессы внедрения технологий виртуальной и дополненной реальности в учебных учреждениях носят довольно активный характер и широкий спектр реализации. Применение технологий виртуальной и дополненной реальности создает новые, более эффективные способы обучения, укрепляет позиции учебных учреждений на рынке образовательных услуг, однако технические недостатки устройств и высокая стоимость конечных решений пока еще ограничивают их широкое применение в образовательном процессе. Приоритетными задачами являются повышение эргономичности VR/AR-оборудования, стремление

к комфортному использованию устройства без существенного ущерба для здоровья, а также оптимизация программной части данных технологий для эффективного использования в узконаправленных сферах деятельности.

### **Виртуальные технологии, применяемые для подготовки спасателей-пожарных**

Одна из важнейших составляющих подготовки спасателей-пожарных – формирование умений и навыков принятия решений в условиях нестандартных чрезвычайных ситуаций, при проведении аварийно-спасательных работ и тушении пожаров на объектах, имеющих сложную планировку, а также эксплуатирующих опасное производственное оборудование, неисправности которого в случае аварии (пожара, землетрясения и т.п.) могут привести к тяжелым последствиям.

На текущий момент в условиях даже самых технологически развитых учебных полигонных баз трудно выполнимы следующие задачи [28]:

- создание и размещение широкого перечня объектов различного функционального назначения (жилого, производственного, социально-бытового и др.) для отработки действий по проведению аварийно-спасательных работ и пожаротушения с учетом особенностей объекта;

- реализация различных сценариев развития пожара и иных чрезвычайных ситуаций для выработки оптимального алгоритма их ликвидации; возможность многократной отработки навыков взаимодействия между пожарно-спасательными подразделениями, принятия управленческих решений и руководства пожарно-спасательным подразделением при различных сценариях развития пожаров и иных чрезвычайных ситуаций;

- погружение обучающегося или группы обучающихся в условия профессиональных стрессовых ситуаций для выработки психологической устойчивости к их воздействию, а также механизмов их преодоления;

- организация совместной подготовки спасателей-пожарных в удаленном режиме;

- организация регулярных пожарно-тактических учений по ликвидации сложных пожаров и иных чрезвычайных ситуаций с привлечением различных структур, входящих в состав единой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций государства.

Для повышения уровня профессиональной готовности спасателей-пожарных наиболее интересной представляется иммерсивная форма подготовки, реализуемая посредством технологий виртуальной и дополненной реальности.

Разработкой программно-аппаратных комплексов виртуальной и дополненной реальности для обучения действиям в чрезвычайных ситуациях, в частности при возникновении пожаров, занимается широкий ряд компаний и организаций. Например, в Университете гражданской защиты МЧС Республики Беларусь имеется ряд разработок по подготовке специалистов высшей квалификации в области пожарной безопасности и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, в том числе включающих элементы виртуальной и дополненной реальности.

Наибольший интерес представляет учебное программное обеспечение по подготовке специалистов государственного пожарного надзора Fire Quest: inspector (версии FQ1 и FQ2)<sup>15</sup>. В основу программного продукта заложена виртуальная трехмерная модель промышленного объекта (рис. 13). При ее разработке использованы наиболее характерные технологические процессы. Виртуальная модель программы FQ1 содержит 1 здание, программа FQ2 – 22 здания, более 200 помещений и более 5000 конструкций и единиц оборудования. Программа FQ1 также адаптирована под законодательство Российской Федерации.

<sup>15</sup> FQ1 и FQ2 Учебное программное обеспечение «Подготовка специалистов органов государственного пожарного надзора» [Электронный ресурс] / Университет гражданской защиты МЧС Беларуси. – Режим доступа: <https://ucp.by/services/razrabotka-po/fq1-i-fq2/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

Программное обеспечение может функционировать в учебном и контрольном режимах. В первом случае обучаемый может перейти из одного здания в другое, только выявив указанный преподавателем процент нарушений, во втором случае он ограничен временем, отведенным на проверку. Фиксация выявленных нарушений может осуществляться с помощью встроенного блокнота или автоматически с использованием контекстного меню. По результатам проведения проверки автоматически представляется отчет, в котором указывается процент выявленных нарушений по каждому слою. Данную информацию можно детализировать для отдельного здания. Для оформления необходимых по результатам проверки документов формируется полный перечень выявленных обучаемым нарушений. Основная задача обучаемого – выявление нарушений норм и правил пожарной безопасности. Для этого ему предоставлена возможность просмотра необходимой информации по зданиям, помещениям и отдельным объектам. При необходимости он может просмотреть проектную документацию, а также аксонометрические виды инженерных и технологических систем, как в целом, так и отдельно взятых. Отличительной особенностью данного продукта является имитация обстановки внутри зданий с учетом оборудования и коммуникаций. Это делает объект и проверку более реалистичными.



Рисунок 13. – Учебное программное обеспечение по подготовке специалистов государственного пожарного надзора *Fire Quest: inspector*<sup>16</sup>

По результатам исследования учеными Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России [29] возможностей адаптации и применения цифровых образовательных технологий для повышения уровня профессиональных компетенций выпускников в области пожаротушения совместно с ЗАО «Институт телекоммуникаций» (Санкт-Петербург, Россия) разработан многофункциональный виртуальный тренажерный комплекс «ОГНЕБОРЕЦ-ИТ»<sup>17</sup> (рис. 14), позволяющий моделировать профессиональную среду и организовывать в ней практическую подготовку обучающихся по тушению пожаров как индивидуально, так и совместными действиями групп обучающихся с возможностью имитации проблемных ситуаций на виртуальных объектах жилого, социально-бытового, промышленного, транспортного и иных функциональных назначений.

В состав тренажера входят системное и прикладное программное обеспечение, базовые объекты, модели и сценарии распространения на них пожаров, система оценивания выполняемых обучаемыми задач. Технологический и методический опыт, полученный в процессе проектирования, внедрения и эксплуатации многофункционального тренажерного комплекса, планируется распространить на другие вузы МЧС России, что позволит создать и унифицировать единую систему практической подготовки курсантов в области пожаротушения, посредством технологии виртуальной реальности [29].

В 2019 г. холдингом «Росэлектроника» Госкорпорации Ростех представлен комплексный тренажер на основе технологии виртуальной реальности для обучения сотрудни-

<sup>16</sup> См. сноску 15.

<sup>17</sup> Виртуальный тренажерный комплекс «ОГНЕБОРЕЦ-ИТ» [Электронный ресурс] / Университет гражданской защиты МЧС Беларуси. – Режим доступа: <https://itain.ru/produkty/kartograficheskoe-obespechenie/136-mnogofunktsionalnyj-virtualnyj-trenazhernyj-kompleks-ogneborets-it>. – Дата доступа: 15.01.2022.

ков противопожарных и саперных служб, специалистов МЧС, работающих в условиях чрезвычайных ситуаций<sup>18</sup>. Симулятор для тренировки пожарных моделирует возгорания различной сложности. Программное обеспечение позволяет воссоздать в виртуальной среде конкретную ситуацию и отработать алгоритмы ее разрешения в приближенной к реальности обстановке. Для полного погружения в виртуальную реальность и обучения сложным моторным навыкам тренажер может быть интегрирован с умным костюмом с обратной тактильной связью. Электромагнитные импульсы, передающиеся от костюма человеку, имитируют различные тактильные ощущения (жар, удары, отдача от огнестрельного оружия и др.).

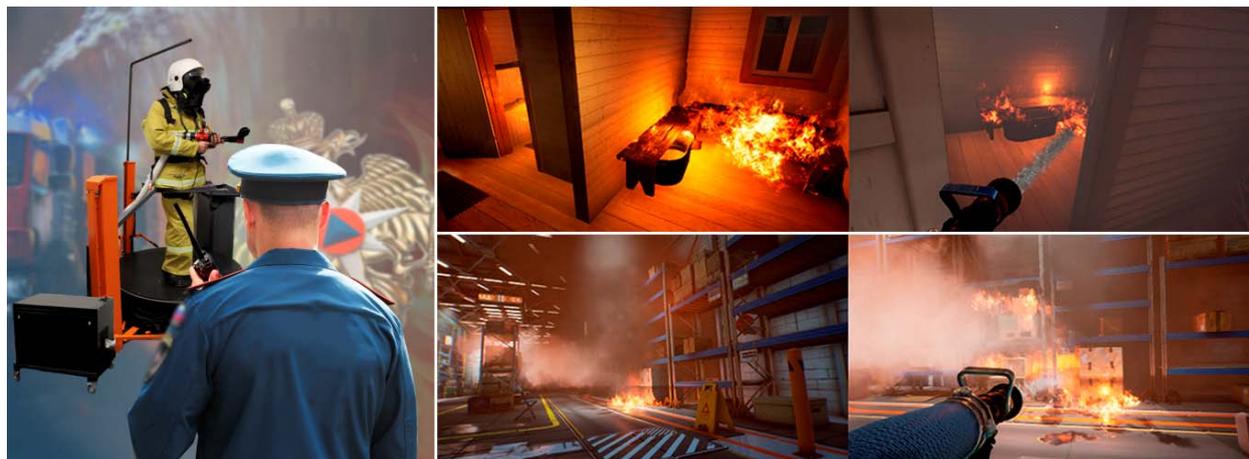


Рисунок 14. – Комплексный тренажер на основе технологии виртуальной реальности для подготовки спасателей-пожарных<sup>19</sup>

Разработкой программно-аппаратных комплексов виртуальной и дополненной реальности для обучения как пожарных-спасателей, так и остального населения действиям в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, в частности пожаров, также занимается широкий ряд компаний дальнего зарубежья. В рамках программных комплексов в основном предусматриваются сценарии с возникновением пожара на объекте и необходимостью выполнить определенный порядок действий, включающий активацию системы пожарной сигнализации и оповещения с помощью ручных пожарных извещателей на объекте, поиск огнетушителя и выбор его типа в зависимости от пожарной нагрузки, приведение огнетушителя в готовность и непосредственно тушение очага пожара.

Примером может являться разработка от британской компании Luminous<sup>20</sup> (рис. 15) для проведения тренингов по пожарной безопасности. Используя гарнитуру виртуальной реальности, обучающиеся могут передвигаться по детально отрисованному в виртуальной среде зданию и изучать виртуальные версии специального пожарного оборудования для тушения пожаров и решения чрезвычайных ситуаций. При этом обучающиеся могут видеть последствия своих действий как правильных, так и при совершении ошибок, например возникновение взрыва при использовании воды для тушения растительного масла.

Похожая разработка под названием SIMSAFE имеется и у американской компании Gravity Jack<sup>21</sup> (рис. 16). Данный тренировочный комплекс, построенный на базе гарнитуры виртуальной реальности VIVE Focus Pro Plus, позволяет погрузиться в реалистичную

<sup>18</sup> Представление комплексного тренажера на основе технологии виртуальной реальности [Электронный ресурс] / TAdvisor – портал выбора технологий и поставщиков. – Режим доступа: <https://www.tadviser.ru/a/462739>. – Дата доступа: 15.01.2022.

<sup>19</sup> См. сноску 17.

<sup>20</sup> VR fire safety training [Электронный ресурс] / Luminous Group. – Режим доступа: <https://www.luminousgroup.co.uk/project/premier-partnership-vr-fire-training/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

<sup>21</sup> Safety training meets virtual reality [Электронный ресурс] / Gravity Jack. – Режим доступа: <https://gravityjack.com/simsafe-vr-training/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

трехмерную виртуальную среду и бороться с пожаром, например возникшим при возгорании плиты для приготовления пищи или мусорного ведра. SIMSAFE каждый раз подбирает случайный сценарий развития пожара, что позволяет держать обучающихся в состоянии полной концентрации на протяжении всего сеанса. До начала сеанса проводится обучение работе с гарнитурой VIVE Focus Pro Plus VR и так называемому методу P.A.S.S. (от англ. Pull, Aim, Squeeze and Sweep) – технике правильного тушения пожара с использованием огнетушителя. После того как обучающийся выполнил сценарий, появляется экран с результатом и подробной информацией, насколько хорошо он справился с задачей.



Рисунок 15. – VR-технология компании Lumipous<sup>22</sup> для обучения действиям в случае возникновения пожара в здании



Рисунок 16. – VR-технология компании SIMSAFE<sup>23</sup> для обучения действиям в случае возникновения пожара в зданиях

Аналогичные по своей сути и содержанию продукты разрабатывают и представляют на рынке: ONEBONSAI<sup>24</sup> (Бельгия), VRVIS<sup>25</sup> (Австрия), eLearning Studios<sup>26</sup> (Великобритания), индийские компании CHRP-INDIA<sup>27</sup>, Simulanis<sup>28</sup> и QUYTECH<sup>29</sup> и др.

На рынке имеется и уникальная разработка под названием Flaim Training (США) – симулятор для обучения спасателей-пожарных<sup>30</sup> (рис. 17). По сути является аналогом российской разработки «ОГНЕБОРЕЦ-ИТ». Симулятор обеспечивает иммерсивную среду виртуальной реальности в сочетании с системой тактильной обратной связи, дыхательным аппаратом и индивидуальной защитной одеждой с подогревом. Симулятор позволяет оттачивать навыки тушения пожаров различной сложности на объектах широкого спектра назначения.

На основе анализа эффективности применения технологий виртуальной и дополненной реальности в подготовке спасателей-пожарных можно выделить ряд основных преимуществ над традиционными способами обучения:

– формирование психологической устойчивости обучающихся при воздействии на них опасных факторов чрезвычайных ситуаций различного характера;

<sup>22</sup> См. сноску 20.

<sup>23</sup> См. сноску 21.

<sup>24</sup> Fire Training in Virtual Reality [Электронный ресурс] / OneBonsai – Virtual Reality Solutions for Companies. – Режим доступа: <https://onebonsai.com/vr-training/vr-fire-training/>. – Дата доступа: 15.01.2022.

<sup>25</sup> Virtual Reality Fire Training [Электронный ресурс] / VRVis. – Режим доступа: <https://www.vrvis.at/en/research/research-projects/virtual-reality-fire-training>. – Дата доступа: 15.01.2022.

<sup>26</sup> Solutions [Электронный ресурс] / E-Learning Studios. – Режим доступа: <https://www.e-learningstudios.com/vr-solutions>. – Дата доступа: 15.01.2022.

<sup>27</sup> Virtual Reality [Электронный ресурс] / CHRP-INDIA. – Режим доступа: <https://www.chrp-india.com/virtual-reality>. – Дата доступа: 15.01.2022.

<sup>28</sup> Fire Safety VR Simulator [Электронный ресурс] / Simulanis. – Режим доступа: <https://www.simulanis.com/fire-safety-vr>. – Дата доступа: 15.01.2022.

<sup>29</sup> VR Safety Training Application [Электронный ресурс] / QUYTECH. – Режим доступа: <https://www.quytech.com/portfolio/virtual-reality-safety-training.php>. – Дата доступа: 15.01.2022.

<sup>30</sup> FLAIM Trainer, the world's first immersive technology enabled firefighter training solution [Электронный ресурс] / Flaim. – Режим доступа: <https://flaimgsystems.com/products/trainer>. – Дата доступа: 15.01.2022.

- возможность многократного прохождения сценариев развития чрезвычайных ситуаций, что, в свою очередь, позволяет вырабатывать наиболее эффективные методы и способы их ликвидации;
- низкая вероятность получения повреждений и травм, которые могут быть получены на реальных объектах при воздействии опасных факторов пожара либо при ошибочных действиях обучающегося;
- увеличенная степень вовлеченности в процесс обучения за счет применения игровых форм обучения в виртуальной среде;
- повышенная рентабельность обучения.

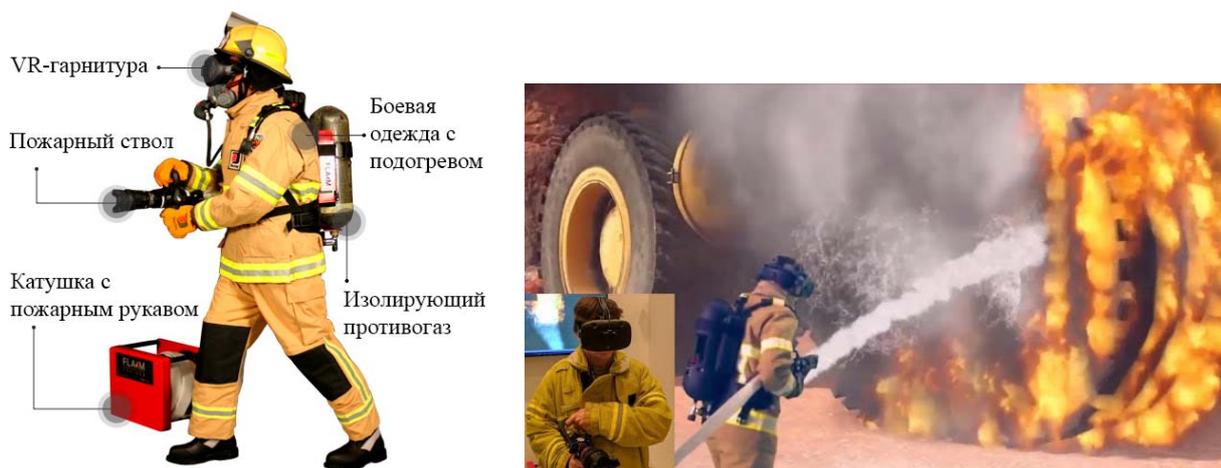


Рисунок 17. – Симулятор для обучения спасателей-пожарных Flaim Training (США)<sup>31</sup>

Следует отметить, что в настоящее время в учреждениях образования Беларуси задача разработки тренажеров с применением виртуальной и дополненной реальности для подготовки специалистов аварийно-спасательных служб не решена. По этой причине выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в данном направлении имеет высокую актуальность и практическую значимость: результаты данных исследований позволят поднять уровень и качество подготовки спасателей-пожарных в Беларуси на более высокую ступень, а также повысить статус учреждений образования страны и закрепиться на международной арене в области предоставления образовательных услуг.

### Заключение

В результате работы проведен сбор и анализ научно-технической информации в области использования виртуальных технологий в образовательном процессе. Рассмотрены общие сведения о технологиях виртуальной и дополненной реальности, в частности история их создания и применения, основные области их использования в человеческой деятельности, а также технические элементы и устройства, используемые для реализации данных технологий в различных сферах. Установлено, что VR/AR-технологии в настоящее время наиболее широко применяются в следующих областях: игровая индустрия, кинематограф, спортивные трансляции и шоу, социальные сети, маркетинговая индустрия, образование, медицина, торговля и недвижимость, промышленность, в частности военная. Для создания виртуального окружения либо реализации дополненной реальности чаще всего используются такие элементы, как костюмы виртуальной реальности, шлемы и очки виртуальной реальности, перчатки виртуальной реальности, комнаты виртуальной реальности. Причем наибольшая степень погружения в виртуальную среду обеспечивается при одновременном использовании перечисленных компонентов.

Выполнен обзор и анализ имеющегося опыта применения технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе в целом. Рассмотрены направления

<sup>31</sup> См. сноску 30.

и способы использования VR/AR-технологий в образовательном процессе, приведены примеры применяемых за рубежом учебных программно-аппаратных комплексов, тренажеров и платформ для различных направлений образования. Проанализированы исследования эффективности применения VR/AR-технологий в области образования, показано, что данные технологии позволяют существенно повышать рентабельность и качество обучения за счет возможности многократной практической отработки навыков без воздействия на обучающегося (обучающихся) возможных в реальной жизни опасных факторов имитируемых ситуаций, а также благодаря повышенной степени вовлечения в процесс обучения.

Рассмотрены виртуальные технологии, применяемые для обучения спасателей-пожарных как на территории Беларуси, так и за рубежом. В настоящее время для подготовки таких специалистов с возможностью практической отработки действий и решения задач, связанных с ликвидацией чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, на рынке представлены тренажерные комплексы только зарубежных производителей. При этом выявлены основные преимущества применения таких тренажеров по сравнению с традиционными методами обучения спасателей-пожарных: формирование психологической устойчивости обучающихся при воздействии на них опасных факторов чрезвычайных ситуаций различного характера; возможность многократного прохождения сценариев развития чрезвычайных ситуаций, что позволяет вырабатывать наиболее эффективные методы и способы их ликвидации; низкая вероятность получения повреждений и травм, которые могут быть получены на реальных объектах при воздействии опасных факторов пожара либо при ошибочных действиях обучающегося; увеличенная степень вовлеченности в процесс обучения за счет применения игровых форм обучения в виртуальной среде; повышенная рентабельность обучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Milgram, P. A taxonomy of mixed reality visual displays / P. Milgram, F. Kishino // *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*. – 1994. – Vol. E77-D, No. 12. – P. 1321–1329.
2. Иванова, А.В. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения / А.В. Иванова // *Стратегические решения и риск-менеджмент*. – 2018. – № 3. – С. 88–107. DOI: 10.17747/2078-8886-2018-3-88-107.
3. LaValle, S.M. Virtual reality / S.M. LaValle // *University of Illinois*. – Cambridge: Cambridge University Press, 2016. – 418 p.
4. Maples-Keller, J.L. The use of virtual reality technology in the treatment of anxiety and other psychiatric disorders / J.L. Maples-Keller [et al.] // *Harvard Review of Psychiatry*. – 2017. – Vol. 25, Iss. 3. – P. 103–113. DOI: 10.1097/HRP.000000000000138.
5. Falconer, C.J. Embodying self-compassion within virtual reality and its effects on patients with depression / C.J. Falconer [et al.] // *BJPsych Open*. – 2016. – Vol. 2, Iss. 1. – P. 74–80. DOI: 10.1192/bjpo.bp.115.002147.
6. Соболев, В.Ю. Интерактивные методы обучения как основа формирования компетенций / В.Ю. Соболев, О. В. Киселева // *Высшее образование сегодня*. – 2014. – № 9. – С. 70–74.
7. Андрушко, Д.Ю. Применение технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе: проблемы и перспективы / Д.Ю. Андрушко // *Научное обозрение. Педагогические науки*. – 2018. – № 6 – С. 5–10.
8. Herron, J. Augmented reality in medical education and training / J. Herron // *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*. – 2016. – Vol. 13, Iss. 2. – P. 51–55. DOI: 10.1080/15424065.2016.1175987.
9. Kamphuis, C. Augmented reality in medical education? / C. Kamphuis [et al.] // *Perspect Med Educ*. – 2014. – Vol. 3. – P. 300–311. DOI: 10.1007/s40037-013-0107-7.
10. Kelly, D. Augmented reality learning environment for physiotherapy education / D. Kelly [et al.] // *Physical Therapy Reviews*. – 2018. – Vol. 23, Iss. 1. – P. 21–28. DOI: 10.1080/10833196.2018.1447256.
11. Iqbal, J. A review on making things see: Augmented reality for futuristic virtual educator / J. Iqbal, M.S. Sidhu, S. Wang // *Cogent Education*. – 2017. – Vol. 4, Iss. 1. – DOI: 10.1080/2331186X.2017.1287392.

12. Turan, Z. The impact of mobile augmented reality in geography education: achievements, cognitive loads and views of university students / Z. Turan, E. Meral, I.F. Sahin // *Journal of Geography in Higher Education*. – 2018. – Vol. 42, Iss. 3. – P. 427–441. DOI: 10.1080/03098265.2018.1455174.
13. Гриншкун, А.В. Об эффективности использования технологий дополненной реальности при обучении школьников информатике / А.В. Гриншкун // *Вестник Московского городского педагогического университета. Серия «Информатика и информатизация образования»*. – 2016. – Т. 35, № 1. – С. 98–103.
14. Кирьянов, А.Е. Технологии дополненной реальности в сфере образования / А.Е. Кирьянов [и др.] // *Иновации*. – 2020. – № 5. – С. 81–88.
15. Wang, Y.-H. Exploring the effectiveness of integrating augmented reality-based materials to support writing activities / Y.-H. Wang // *Computers & Education*. – 2017. – Vol. 113. – P. 162–176. DOI: 10.1016/j.compedu.2017.04.013.
16. Wang, Y.-H. Using augmented reality to support a software editing course for college students / Y.-H. Wang // *Journal of Computer Assisted Learning*. – 2017. – Vol. 33, Iss. 5. – P. 532–546. DOI: 10.1111/jcal.12199.
17. Mumtaz, K. An E-assessment framework for blended learning with augmented reality to enhance the student learning / K. Mumtaz [et al.] // *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. – 2017. – Vol. 13, Iss. 8. – P. 4419–4436. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00938a.
18. Chang, H.-Y. A comparison study of augmented reality versus interactive simulation technology to support student learning of a socio-scientific issue / H.-Y. Chang, Y.-S. Hsu, H.-K. Wu // *Interactive Learning Environments*. – 2016. – Vol. 24, Iss. 6. – P. 1148–1161. DOI: 10.1080/10494820.2014.961486.
19. Domínguez, E.R. Educating urban designers using augmented reality and mobile learning technologies / E.R. Domínguez // *RIED – Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*. – 2017. – Vol. 20, No. 2. – P. 141–165. DOI: 10.5944/ried.20.2.17675.
20. Montoya, M.H. Evaluating the effect on user perception and performance of static and dynamic contents deployed in augmented reality based learning application / M.H. Montoya, C.A. Díaz, G.A. Moreno // *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. – 2017. – Vol. 13, Iss. 2. – P. 301–317. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00617a.
21. Bendicho, P.F. Effect on academic procrastination after introducing augmented reality / P.F. Bendicho [et al.] // *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. – 2017. – Vol. 13, Iss. 2. – P. 319–330. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00618a.
22. Salinas, P. Understanding the conics through augmented reality / P. Salinas, R. Pulido // *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. – 2017. – Vol. 13, Iss. 2. – P. 341–354. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00620a.
23. Carrera, C.C. Landscape interpretation with augmented reality and maps to improve spatial orientation skill / C.C. Carrera, L.A.B. Asensio // *Journal of Geography in Higher Education*. – 2017. – Vol. 41, Iss. 1. – P. 119–133. DOI: 10.1080/03098265.2016.1260530.
24. Martin-Gonzalez, A. Usability evaluation of an augmented reality system for teaching Euclidean vectors / A. Martin-Gonzalez, A. Chi-Poot, V. Uc-Cetina // *Innovations in Education and Teaching International*. – 2016. – Vol. 53, Iss. 6. – P. 627–636. DOI: 10.1080/14703297.2015.1108856.
25. Cheng, K.-H. Reading an augmented reality book: An exploration of learners' cognitive load, motivation, and attitudes / K.-H. Cheng // *Australasian Journal of Educational Technology*. – 2017. – Vol. 33, No. 4. – P. 53–69. DOI: 10.14742/ajet.2820.
26. Juan, M.C. A mobile augmented reality system for the learning of dental morphology / M.C. Juan [et al.] // *Digital Education Review*. – 2016. – No. 30. – P. 234–247.
27. Harley, J.M. Comparing virtual and location-based augmented reality mobile learning: Emotions and learning outcomes / J.M. Harley [et al.] // *Educational Technology Research and Development*. – 2016. – Vol. 64, No. 3. – P. 359–388. DOI: 10.1007/s11423-015-9420-7.
28. Булгаков, В.В. Иммерсивная форма подготовки: актуальность и перспективы внедрения в образовательный процесс вузов МЧС России / В.В. Булгаков // *Вестник МГПУ. Серия «Информатика и информатизация образования»*. – 2020. – Т. 54, № 4. – С. 68–78. DOI: 10.25688/2072-9014.2020.54.4.07.
29. Малый, И.А. Применение цифровых технологий для подготовки курсантов в области пожаротушения / И.А. Малый [и др.] // *Открытое образование*. – 2021. – Т. 25, № 2. – С. 51–59.

**Технологии виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе**  
**Virtual and augmented reality technologies in the educational process**

**Полевода Иван Иванович**

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь»,  
начальник университета

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: ip@ucp.by

ORCID: 0000-0003-2469-3553

**Ivan I. Palevoda**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Head of University

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: ip@ucp.by

ORCID: 0000-0003-2469-3553

**Иваницкий Александр Григорьевич**

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра пожарной  
безопасности, старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

e-mail: A.Ivanitski@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1219-962X

**Aleksandr G. Ivanitskiy**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Fire Safety, Senior Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

e-mail: A.Ivanitski@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1219-962X

**Миканович Андрей Станиславович**

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты Министер-  
ства по чрезвычайным ситуациям Республики  
Беларусь», факультет техносферной  
безопасности, начальник факультета

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

e-mail: mast1978@gmail.com

**Andrey S. Mikanovich**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Technosphere Safety Faculty, Head of Faculty

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

e-mail: mast1978@gmail.com

**Пастухов Сергей Михайлович**

кандидат технических наук, доцент  
Общество с ограниченной ответственностью  
«Тат-Систем», технический директор

Адрес: 22-й километр Киевское шоссе,  
двд. 4 стр. 1, блок А, офис 804/2,  
108811, г. Москва, Россия

e-mail: plamennyj98@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1437-1913

**Sergey M. Pastukhov**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
Tat-System Limited Liability Company,  
Technical Director

Address: the 22nd kilometer Kievskoe highway,  
premises 4, building 1,  
block A, office 804/2,  
108811, Moscow, Russia

e-mail: plamennyj98@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1437-1913

**Грачулин Александр Владимирович**

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра  
автоматических систем безопасности,  
старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: Grachulin\_a@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3832-8258

**Aleksandr V. Grachulin**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Automatic Safety Systems,  
Senior Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: Grachulin\_a@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3832-8258

**Рябцев Виталий Николаевич**

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра  
автоматических систем безопасности,  
начальник кафедры

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: v.reabtsev@ucp.by

ORCID: 0000-0002-2830-591X

**Vitaly N. Ryabtsev**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Automatic Safety Systems,  
Head of the Chair

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: v.reabtsev@ucp.by

ORCID: 0000-0002-2830-591X

**Навроцкий Олег Дмитриевич**

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра  
автоматических систем безопасности, доцент

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4137-2519

**Oleg D. Navrotskiy**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Automatic System Security,  
Associate Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: Oleg.Navrotsky@gmail.com

ORCID: 0000-0002-4137-2519

**Лихоманов Алексей Олегович**

кандидат технических наук  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра  
автоматических систем безопасности, доцент

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь

Email: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

**Aleksey O. Likhomanov**

PhD in Technical Sciences  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Automatic System Security,  
Associate Professor

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus

Email: alexlikh20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-9374-1486

**Винярский Георгий Владимирович**

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра  
ликвидации чрезвычайных ситуаций,  
старший преподаватель

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
Email: jora54367@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-4962-7763

**Georgiy V. Vinyarskiy**

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Emergency Elimination,  
Senior Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
Email: jora54367@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-4962-7763

**Гусаров Игорь Сергеевич**

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», факультет  
предупреждения и ликвидации  
чрезвычайных ситуаций, курсант

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
Email: igor.gusarov.2000@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-0665-8212

**Igor' S. Gusarov**

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Faculty of Emergency Prevention and Elimination,  
cadet

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
Email: igor.gusarov.2000@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-0665-8212

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2022.6-1.119>

## VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS

**Palevoda I.I., Ivanitskiy A.G., Mikanovich A.S., Pastukhov S.M., Grachulin A.V.,  
Ryabtsev V.N., Navrotskiy O.D., Likhomanov A.O., Vinyarskiy G.V., Gusarov I.S.**

*Purpose* To collect and analyze scientific and technical information in the field of using virtual and augmented reality technologies in the educational process, in particular in the training of rescuers and firefighters.

*Methods.* The general methodology of the work included the use of theoretical research methods (analysis, synthesis, comparison).

*Findings.* The collection and analysis of scientific and technical information in the field of the use of virtual technologies in the educational process were carried out. General information about virtual and augmented reality technologies, in particular, the history of their creation and application, the main areas of use in human activity, as well as the technical elements and devices used to implement these technologies in various fields were considered. The directions and methods of using virtual and augmented reality in the educational process were examined. Examples of educational software and hardware systems used abroad, simulators and platforms for various areas of education were given. Studies of the effectiveness of these technologies in the field of education were analyzed. Virtual technologies used to train firefighters both in Belarus and abroad were addressed and analyzed.

*Application field of research.* The results of the review and analysis of information on the use of virtual and augmented reality technologies in the educational process can be further used in the development of VR/AR simulators for training rescuers and firefighters.

*Keywords:* virtual reality, augmented reality, simulator, simulation of physical impacts, emergency rescue operations, rescuer, firefighter.

(The date of submitting: January 10, 2022)

### REFERENCES

1. Milgram P., Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems*, 1994. Vol. E77-D, No. 12. Pp. 1321–1329.
2. Ivanova A.V. VR & AR technologies: opportunities and application obstacles. *Strategic decisions and risk management*, 2018. No. 3. Pp. 88–107. DOI: 10.17747/2078-8886-2018-3-88-107.
3. LaValle S.M. Virtual reality. University of Illinois. Cambridge: Cambridge University Press, 2016. 418 p.
4. Maples-Keller J.L., Bunnell B.E., Kim S.-J., Rothbaum B.O. The use of virtual reality technology in the treatment of anxiety and other psychiatric disorders. *Harvard Review of Psychiatry*, 2017. Vol. 25, Iss. 3. Pp. 103–113. DOI: 10.1097/HRP.000000000000138.
5. Falconer C.J., Rovira A., King J.A., Gilbert P., Antley A., Fearon P., Ralph N., Slater M., Brewin C.R. Embodying self-compassion within virtual reality and its effects on patients with depression. *BJPsych Open*, 2016. Vol. 2, Iss. 1. Pp. 74–80. DOI: 10.1192/bjpo.bp.115.002147.
6. Sobolev V.Yu., Kiseleva O.V. Interaktivnye metody obucheniya kak osnova formirovaniya kompetentsiy [Interactive teaching methods as the basis for the formation of competencies]. *Vysshee obrazovanie segodnya*, 2014. No. 9. Pp. 70–74. (rus)
7. Andrushko D.Yu. Primenenie tekhnologiy virtual'noy i dopolnennoy real'nosti v obrazovatel'nom protsesse: problemy i perspektivy [Application of virtual and augmented reality technology in educational process: issues and perspectives]. *Scientific Review*, 2018. No. 6. Pp. 5–10. (rus)
8. Herron J. Augmented reality in medical education and training. *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*, 2016. Vol. 13, Iss. 2. Pp. 51–55. DOI: 10.1080/15424065.2016.1175987.
9. Kamphuis C., Barsom E., Schijven M., Christoph N. Augmented reality in medical education? *Perspect Med Educ*, 2014. Vol. 3. Pp. 300–311. DOI: 10.1007/s40037-013-0107-7.
10. Kelly D., Hoang T.N., Reinoso M., Joukhadar Z., Clements T., Vetere F. Augmented reality learning environment for physiotherapy education. *Physical Therapy Reviews*, 2018. Vol. 23, Iss. 1. Pp. 21–28. DOI: 10.1080/10833196.2018.1447256.
11. Iqbal J., Sidhu M.S., Wang S. A review on making things see: Augmented reality for futuristic virtual educator. *Cogent Education*, 2017. Vol. 4, Iss. 1. DOI: 10.1080/2331186X.2017.1287392.

12. Turan Z., Meral E., Sahin I.F. The impact of mobile augmented reality in geography education: achievements, cognitive loads and views of university students. *Journal of Geography in Higher Education*, 2018. Vol. 42, Iss. 3. Pp. 427–441. DOI: 10.1080/03098265.2018.1455174.
13. Grinshkun A.V. Ob effektivnosti ispol'zovaniya tekhnologiy dopolnennoy real'nosti pri obuchenii shkol'nikov informatike [On the efficiency of use of augmented reality at teaching students computer science]. *The academic Journal of Moscow City University. Series: Informatics and Informatization of Education*, 2016. Vol. 35, No. 1. Pp. 98–103. (rus)
14. Kiryanov A.E., Yilmaz R.M., Maslov D.V., Masyuk N.N., Vorobyev B.A. Tekhnologii dopolnennoy real'nosti v sfere obrazovaniya [Technology of augmented reality in education]. *Innovations*, 2020. No. 5. Pp. 81–88. (rus). DOI: 10.26310/2071-3010.2020.259.5.011.
15. Wang Y.-H. Exploring the effectiveness of integrating augmented reality-based materials to support writing activities. *Computers & Education*, 2017. Vol. 113. Pp. 162–176. DOI: 10.1016/j.compedu.2017.04.013.
16. Wang Y.-H. Using augmented reality to support a software editing course for college students. *Journal of Computer Assisted Learning*, 2017. Vol. 33, Iss. 5. Pp. 532–546. DOI: 10.1111/jcal.12199.
17. Mumtaz K., Iqbal M.M., Khalid Sh., Rafiq T., Owais S.M., Al Achhab M. An E-assessment framework for blended learning with augmented reality to enhance the student learning. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 2017. Vol. 8, No. 13. Pp. 4419–4436. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00938a.
18. Chang H.-Y., Hsu Y.-S., Wu H.-K. A comparison study of augmented reality versus interactive simulation technology to support student learning of a socio-scientific issue. *Interactive Learning Environments*, 2016. Vol. 6, No. 24. Pp. 1148–1161. DOI: 10.1080/10494820.2014.961486.
19. Domínguez E.R. Educating urban designers using augmented reality and mobile learning technologies. *RIED – Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 2017. Vol. 20, No. 2. Pp. 141–165. DOI: 10.5944/ried.20.2.17675.
20. Montoya M.H., Díaz C.A., Moreno G.A. Evaluating the effect on user perception and performance of static and dynamic contents deployed in augmented reality based learning application. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 2017. Vol. 13, Iss. 2. Pp. 301–317. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00617a.
21. Bendicho P.F., Mora C.E., Añorbe-Díaz B., Rivero-Rodríguez P. Effect on academic procrastination after introducing augmented reality. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 2017. Vol. 13, Iss. 2. Pp. 319–330. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00618a.
22. Salinas P., Pulido R. Understanding the conics through augmented reality. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 2017. Vol. 13, Iss. 2. Pp. 341–354. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00620a.
23. Carrera C.C., Asensio L.A.B. Landscape interpretation with augmented reality and maps to improve spatial orientation skill. *Journal of Geography in Higher Education*, 2017. Vol. 41, Iss. 1. Pp. 119–133. DOI: 10.1080/03098265.2016.1260530.
24. Martin-Gonzalez A., Chi-Poot A., Uc-Cetina V. Usability evaluation of an augmented reality system for teaching Euclidean vectors. *Innovations in Education and Teaching International*, 2016. Vol. 53, Iss. 6. Pp. 627–636. DOI: 10.1080/14703297.2015.1108856.
25. Cheng K.-H. Reading an augmented reality book: An exploration of learners' cognitive load, motivation, and attitudes. *Australasian Journal of Educational Technology*, 2017. Vol. 33, No. 4. Pp. 53–69. DOI: 10.14742/ajet.2820.
26. Juan M.C., Alexandrescu L., Folguera F., García-García I. A mobile augmented reality system for the learning of dental morphology. *Digital Education Review*, 2016. No. 30. Pp. 234–247.
27. Harley J.M., Poitras E.G., Jarrell A., Duffy M.C., Lajoie S.P. Comparing virtual and location-based augmented reality mobile learning: Emotions and learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 2016. Vol. 64, No. 3. Pp. 359–388. DOI: 10.1007/s11423-015-9420-7.
28. Bulgakov V.V. Immersivnaya forma podgotovki: aktual'nost' i perspektivy vnedreniya v obrazovatel'nyy protsess vuzov MChS Rossii [Immersive Form of Training: Relevance and Prospects of Implementation in the Educational Process of Higher Education Institutions of the Ministry of Emergency Situations of Russia]. *The academic Journal of Moscow City University. Series: Informatics and Informatization of Education*, 2020. Vol. 54, No. 4. Pp. 68–78. (rus). DOI: 10.25688/2072-9014.2020.54.4.07.
29. Malyj I.A., Bulgakov V.V., Sharabanova I.Yu., Orlov O.I. Primenenie tsifrovyykh tekhnologiy dlya podgotovki kursantov v oblasti pozharotusheniya [Interdisciplinary Distance Learning Workshop for IT Students]. *Educational Resources*, 2021. Vol. 25, No. 2. Pp. 51–59. (rus). DOI: 10.21686/1818-4243-2021-2-51-59.