

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАКЕТ ТРЕНАЖЕРА С ИМИТАЦИЕЙ ЭФФЕКТОВ ФИЗИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В УСЛОВИЯХ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПАСАТЕЛЕЙ-ПОЖАРНЫХ

Полевода И.И., Рябцев В.Н., Лихоманов А.О., Навроцкий О.Д.,
Грачулин А.В., Гапанюк Д.В., Морозов А.А., Климовцов В.М.,
Винярский Г.В., Шинкоренко К.Е., Гусаров И.С., Бобарика И.В.

Цель. Разработать экспериментальный макет тренажера для подготовки спасателей-пожарных, включающий программное обеспечение и элементы имитации эффектов физических воздействий на обучающегося в условиях виртуальной реальности, а также исследовать влияние эффектов обратной тактильной связи на обучающихся.

Методы. Общая методология работы предусматривала использование теоретических методов исследования (анализ, синтез, сравнение). Влияние эффектов обратной тактильной связи на обучающихся определено методом измерения частоты их сердечных сокращений в ходе рандомизированного исследования с двумя параллельными группами.

Результаты. На основе анализа опыта применения технологий виртуальной и дополненной реальности в образовательной деятельности сформулированы назначение, состав, структура и функции экспериментального макета тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности для подготовки спасателей-пожарных (ЭМТ). Разработанный ЭМТ, включающий VR-гарнитуру (для управления симуляцией и передачи визуальных и звуковых эффектов), VR-костюм (для обеспечения обратной тактильной связи за счет электростимуляции нервно-мышечных структур) и оригинальное программное обеспечение, позволяет погружать обучающихся в виртуальную среду, имитирующую условия чрезвычайной ситуации (пожар в квартире жилого дома) и воздействие на них опасных факторов пожара. С использованием ЭМТ исследовано влияние эффектов обратной тактильной связи на обучающихся. Показано, что применение ЭМТ позволяет снизить количество ошибок, совершаемых обучающимися при ликвидации пожара в квартире жилого дома в виртуальной симуляции, от 2,5 до 4,0 раз по сравнению с использованием технологий виртуальной реальности без применения эффектов обратной тактильной связи.

Область применения исследований. Результаты работы могут быть применены для создания тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности с целью его использования в образовательном процессе для подготовки спасателей-пожарных.

Ключевые слова: виртуальная реальность, дополненная реальность, тренажер, имитация физических воздействий, аварийно-спасательные работы, спасатель-пожарный, VR-костюм, VR-гарнитура, VR-шлем.

(Поступила в редакцию 13 июля 2022 г.)

Введение

Обеспечение защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций (ЧС) является одной из важнейших задач государственной политики Республики Беларусь в области национальной безопасности. Для решения этой задачи в стране создана и функционирует профессиональная пожарная аварийно-спасательная служба.

Для эффективной ликвидации ЧС и их последствий спасатели-пожарные получают профильное образование и регулярно повышают уровень профессионального мастерства в рамках специализированных занятий и учений.

Подготовка в тренировочных комплексах позволяет обеспечить безопасность личного состава в случае неверных действий и исключает возможность какого-либо негативного

воздействия на них опасных факторов, однако не позволяет реализовать масштаб, специфику и реалистичное подобие происходящих в условиях ЧС процессов, с которыми может столкнуться личный состав аварийно-спасательных служб (обрушение строительных конструкций (оборудования), поражение электрическим током, воздействие высоких температур и др.).

Масштаб и специфику ЧС можно реализовать в рамках учений на полигонах, однако приближение к реальным условиям чрезвычайных ситуаций ведет к большим рискам негативного воздействия на спасателей-пожарных, а также требует значительных финансовых затрат.

Учитывая вышесказанное, а также основываясь на опыте применения технологий виртуальной и дополненной реальности в различных областях образовательной деятельности [1–22], весьма актуальной является разработка и внедрение в образовательный процесс тренажерных комплексов с использованием технологий виртуальной реальности, которые позволяют обучающимся не только находиться в виртуальной среде, но и передвигаться, взаимодействовать с ней естественным образом, получая обратную тактильную связь, при этом не подвергаться опасности поражения опасными факторами ЧС. Это позволит обучающимся в короткие сроки получить опыт и практические навыки поведения в ЧС, условия которых крайне сложно смоделировать в образовательном процессе.

Для реализации вышеописанной цели в Университете гражданской защиты МЧС Беларуси (далее – университет) разработан экспериментальный макет тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности, который рассматривается далее в статье.

Основная часть

Назначение, состав и функции экспериментального макета тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности. Экспериментальный макет тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности (ЭМТ) и его программное обеспечение (ПО) разработаны с целью определения оптимального режима работы тренажера для использования в образовательном процессе при подготовке спасателей-пожарных, а также для экспериментальной оценки влияния эффектов обратной тактильной связи на обучающегося при имитации ударов, поражения электрическим током, теплового воздействия и других факторов методом измерения частоты их сердечных сокращений (ЧСС). Под оптимальным режимом работы ЭМТ подразумевается такой порядок его функционирования и использования преподавателем и обучающимися, при котором можно автоматизировать и сохранять либо в некоторых случаях повышать качество подготовки спасателей-пожарных посредством погружения их в виртуальную среду, имитирующую условия ЧС и воздействие на них опасных факторов, которые крайне сложно и экономически нецелесообразно воссоздавать в реальности.

Основываясь на опыте применения технологий виртуальной и дополненной реальности в различных областях образовательной деятельности, сформированы требования к составу (табл. 1, рис. 1) и структуре ЭМТ, схема которой представлена на рисунке 2. Основная задача ЭМТ – погружение обучающегося в среду моделируемой ЧС.

Принцип моделирования ЧС основан на технологиях визуализации и имитации возникновения, развития и последствий моделируемой ЧС. Обучающийся воспринимает происходящее от первого лица через VR-шлем (шлем виртуальной реальности для визуализации обучающей симуляции в виртуальной среде) и с помощью ручных VR-контроллеров имеет возможность взаимодействовать с предметами в виртуальном мире, а также ощущать физические воздействия через VR-костюм в соответствии со сценарием.

Таблица 1. – Компоненты ЭМТ и их назначение

№ п/п	Компонент	Назначение
1	VR-костюм	Обеспечение обратной тактильной связи путем электростимуляции нервно-мышечных структур
2	VR-шлем	Визуальная и звуковая передача моделируемой обстановки
3	Ручные VR-контроллеры	Взаимодействие с объектами в виртуальном пространстве
4	Бэпк	Сопряжение VR-шлема и VR-костюма, обеспечение функционирования ПО обучающегося
5	Головной персональный компьютер (ГПК)	Обеспечение работы модуля преподавателя и долгосрочное хранение данных о результатах прохождения тренировочных заданий обучающимися
6	ПО обучающегося	Моделирование и передача виртуальной реальности обучающемуся через VR-шлем и VR-костюм
7	ПО сервера	Синхронизация событий в виртуальном пространстве для различных пользователей в режиме одновременного прохождения заданий несколькими обучающимися
8	ПО преподавателя	Осуществление контроля над прохождением заданий обучающимся в режиме реального времени, доступ к персональной учебной статистике обучающихся, а также настройка параметров заданий с учетом учебных задач под конкретного обучающегося. Предусмотрена визуализация от первого (действия обучающегося) и третьего лица (общий вид сцены с возможностью изменения положения точки и направления обзора)

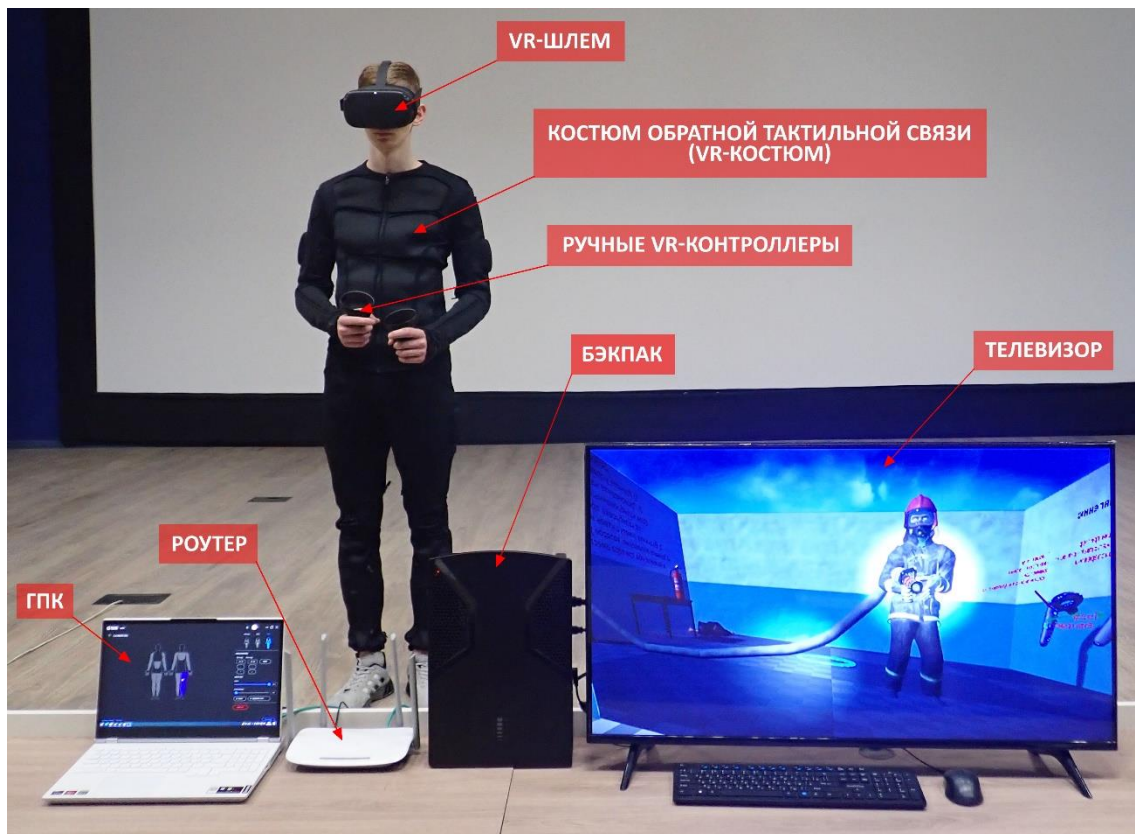
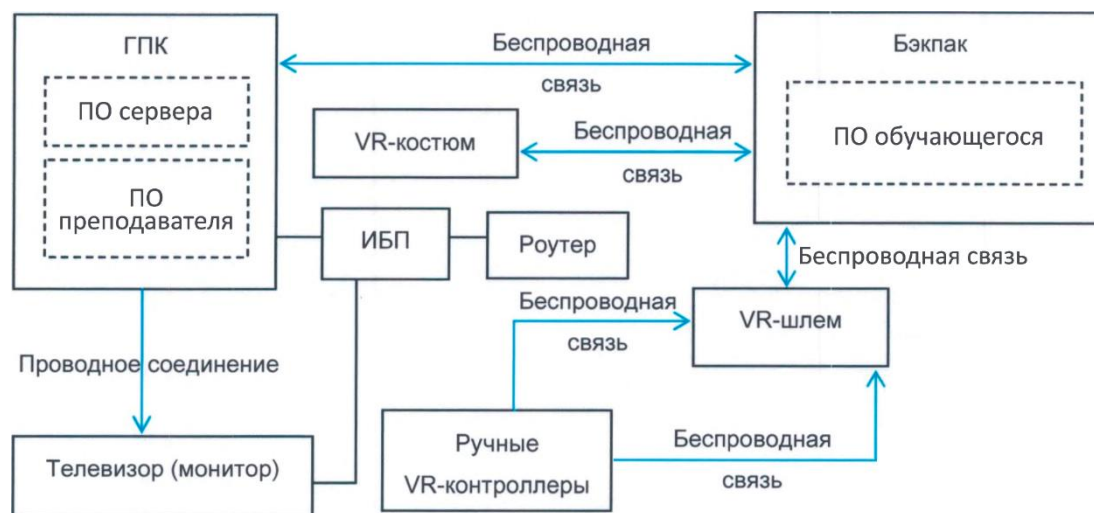


Рисунок 1. – Составные компоненты ЭМТ



ИБП – источник бесперебойного питания для обеспечения гарантированного электропитания оборудования; телевизор (монитор) – дополнительное внешнее устройство для вывода пользовательской информации оператору и визуализации в режиме реального времени процесса прохождения сценария с целью оценки правильности выполнения действий обучающихся

Рисунок 2. – Структура ЭМТ

Одним из главных элементов ЭМТ является VR-костюм с возможностью передачи обратной тактильной связи, обеспечивающий имитацию физических воздействий на обучающегося путем электростимуляции нервно-мышечных структур. Данный костюм является отличительной особенностью ЭМТ в сравнении с большинством известных тренажеров^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}, где применяются только технологии виртуальной реальности без применения эффектов обратной тактильной связи.

VR-костюм представляет собой электротехническое изделие с интегрированными инерциальными датчиками (англ. – inertial measurement unit, IMU) и электродами, расположенными на внутренней поверхности костюма в анатомически подходящих областях тела. Каждый инерциальный датчик состоит из акселерометра, гироскопа и магнитометра. Датчики IMU позволяют отслеживать позы, положение и движение человека в пространстве, а также создавать на основе полученных данных его цифровое представление (аватар)

¹ Виртуальный тренажерный комплекс «ОГНЕБОРЕЦ-ИТ» [Электронный ресурс] / ЗАО «Институт телекоммуникаций». – Режим доступа: <https://itain.ru/produkty/kartograficheskoe-obespechenie/136-mnogofunktsionalnyj-virtualnyj-trenazhernyj-kompleks-ogneborets-it>. – Дата доступа: 01.07.2022.

² 2019: 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: 01.07.2022.

³ Supercharge your training with XR [Электронный ресурс] / Luminous Group. – Режим доступа: https://www.luminousgroup.co.uk/immersive-training/?_gl=1*19tu3oc*_up*MQ.*_ga*Mzg3NDU3Nzg0LjE2NTY2Njg5OTM.*_ga_90T247P1QQ*MTY1NjY2ODk5My4xLjEuMTY1NjY2ODk5Ny4w. – Дата доступа: 01.07.2022.

⁴ Safety training meets virtual reality [Электронный ресурс] / Gravity Jack. – Режим доступа: <https://gravityjack.com/simsafe-vr-training/>. – Дата доступа: 01.07.2022.

⁵ VR Fire Training [Электронный ресурс] / OneBonsai – Virtual Reality Solutions for Companies. – Режим доступа: <https://onebonsai.com/vr-training/vr-fire-training/>. – Дата доступа: 01.07.2022.

⁶ Virtual Reality Fire Training [Электронный ресурс] / VRVis. – Режим доступа: <https://www.vrvis.at/en/research/research-projects/virtual-reality-fire-training>. – Дата доступа: 01.07.2022.

⁷ Solutions [Электронный ресурс] / E-Learning Studios. – Режим доступа: <https://www.e-learningstudios.com/vr-solutions>. – Дата доступа: 01.07.2022.

⁸ Virtual Reality [Электронный ресурс] / Virtual Reality Development. – Режим доступа: <https://www.chrp-india.com/virtual-reality>. – Дата доступа: 01.07.2022.

⁹ Fire Safety VR Simulator [Электронный ресурс] / Simulanis. – Режим доступа: <https://www.simulanis.com/fire-safety-vr>. – Дата доступа: 01.07.2022.

¹⁰ VR Safety Training Application [Электронный ресурс] / QUYTECH. – Режим доступа: <https://www.quytech.com/portfolio/virtual-reality-safety-training.php>. – Дата доступа: 01.07.2022.

в виртуальной среде. Расположенные на внутренней поверхности костюма электроды предназначены для передачи физических воздействий путем электростимуляции нервно-мышечных структур, что позволяет взаимодействовать с виртуальными объектами в обучающей симуляции (рис. 3). Под обучающей симуляцией (далее – симуляция) в данном контексте подразумевается виртуальная модель ситуации, в которой обучающийся выполняет определенный сценарием алгоритм действий при сопровождении звуковыми и визуальными эффектами, реализуемыми с помощью гарнитуры виртуальной реальности, а также испытывает физические воздействия при взаимодействии с виртуальными объектами, генерируемые костюмом обратной тактильной связи.

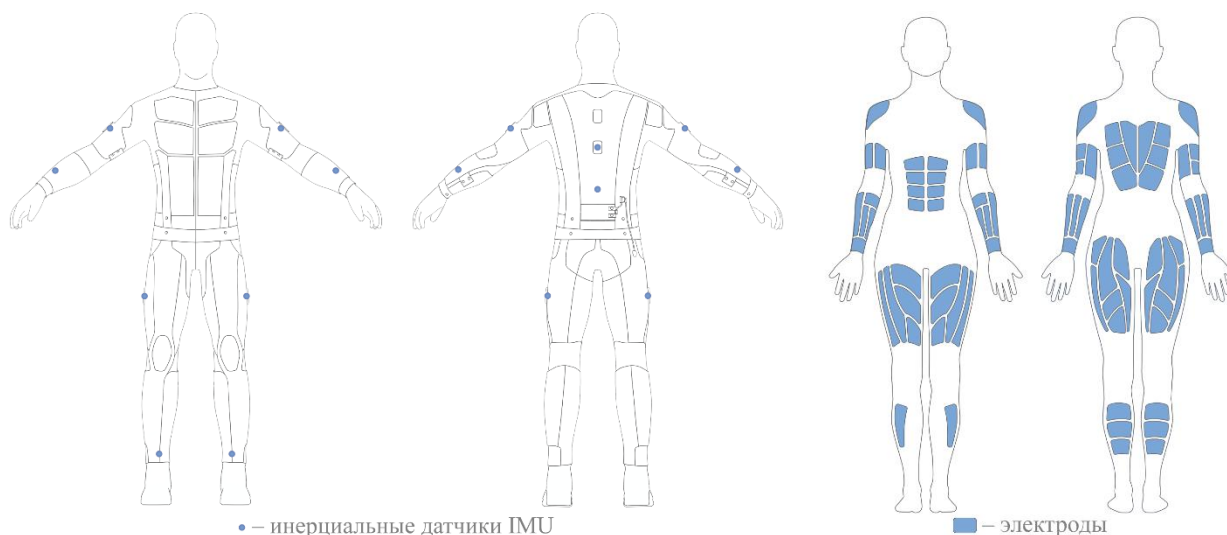


Рисунок 3. – Расположение инерциальных датчиков IMU и электродов в VR-костюме

Программное обеспечение для ЭМТ (рис. 1 и табл. 1) предназначено для корректного функционирования средств имитации эффектов воздействия на органы чувств обучающихся согласно сценарию в виртуальной среде: гарнитуры виртуальной реальности (VR-шлема), создающей у обучающегося эффект частичного или полного погружения; системы озвучивания; костюма обратной тактильной связи, обеспечивающего имитацию физических воздействий на обучающегося (например, ударов, поражения электрическим током, теплового воздействия в симуляции). ПО для ЭМТ обеспечивает программную обработку обратной тактильной связи VR-костюма, звуковое сопровождение, а также включает виртуальные объекты наполнения виртуальных обучающих локаций и окружающей среды, интерфейс управления ЭМТ для преподавателя, алгоритмы отслеживания и оценки действий обучающегося и сбора его персональной статистики с последующим сохранением в базе данных.

Программное обеспечение преподавателя (рис. 1) позволяет решать следующие задачи:

- проходить простейшую авторизацию при входе в систему для персонализации действий;
- осуществлять настройку исходных параметров ЧС, моделируемых на ЭМТ;
- вести учет обучающихся для их идентификации при прохождении контрольных заданий на ЭМТ;
- иметь доступ к информации о результатах прохождения контрольных заданий обучающимися;
- наблюдать в реальном времени или в режиме отложенного просмотра на мониторе (телевизоре) проходимые обучающимися контрольные задания (вид со стороны), а также получать сведения о выполнении существенных этапов задания и итоговом результате;
- иметь доступ к справочной информации и руководству пользователя ЭМТ.

В текущей версии ПО в модуле обучающегося создана одна сцена симуляции в виртуальной среде, рассчитанная на одновременное прохождение одним обучающимся.

Сцена обучающей симуляции в виртуальной среде для подготовки спасателей-пожарных. Площадка для размещения ЭМТ – ровная (без перепадов высот) поверхность в свободном пространстве площадью не менее 25 м².

Сцена обучающей симуляции в виртуальном пространстве представляет собой квартиру, состоящую из прихожей, туалета/ванной, жилой части и кухни со следующими элементами (объектами) наполнения: мебель (шкафы, столы, стулья и диван), электрооборудование и бытовая техника (телевизор, стиральная машина, холодильник, микроволновая печь и газовая плита), сантехника (раковина, ванна и унитаз) и т.д. (рис. 4).



Рисунок 4. – Внешний вид квартиры из симуляции (вид сверху)

Планировка сцены в симуляции также включает коридор с поворотами, ведущий к квартире, в которой находится очаг пожара (рис. 5). В коридоре предусмотрено наличие электрического щитка, а также входных дверей квартир с номерами. Двери смежных квартир не доступны для открытия. В коридоре наблюдается легкое задымление, которое может изменяться преподавателем в рамках управления симуляцией. В квартире, где развивается пожар, возможны множественные очаги: бытовая техника, мебель, электроника, элементы отделки и т.д.



а – стартовая позиция обучающегося в начале коридора



б – вид от первого лица обучающегося на стартовой позиции

Рисунок 5. – Кадры из симуляции в ЭМТ



в – первый поворот в коридоре



г – второй поворот в коридоре, дверь в квартиру, электрический щиток



д – пострадавший без сознания в туалете/ванной



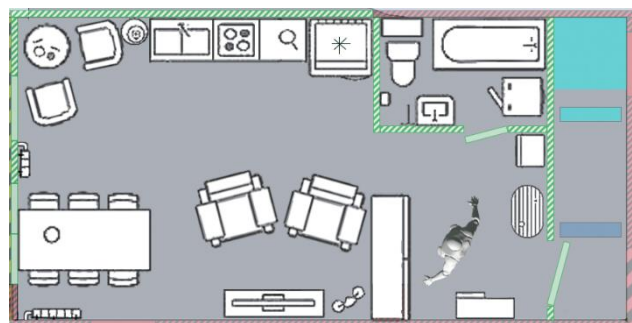
е – тушение пожара в жилой части квартиры

Рисунок 5. – Кадры из симуляции в ЭМТ

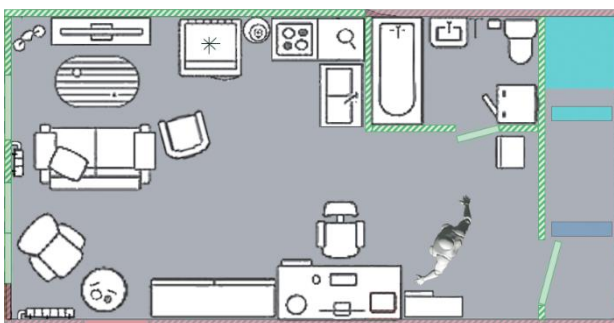
В ПО преподавателя имеется возможность выбрать один из пяти вариантов оформления сцены симуляции (рис. 6), при этом возможно произвольное наполнение квартиры объектами по замыслу преподавателя (рис. 7). Также в некоторых вариантах сцены предусматривается наличие пострадавшего без сознания и (или) газового баллона (отдельные элементы, которые необходимо вынести (эвакуировать) в безопасную зону).



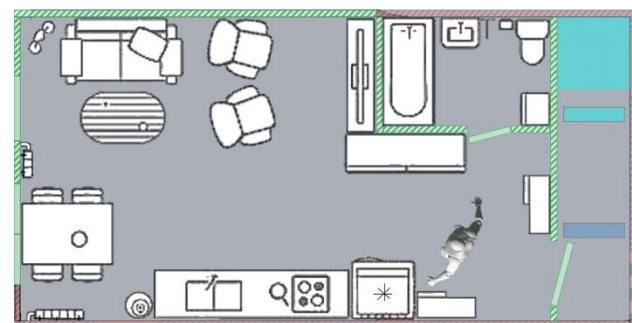
1



2

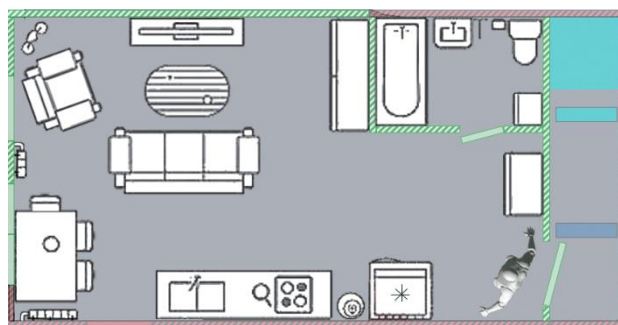


3



4

Рисунок 6. – Варианты сцены для симуляции (вид сверху)



5

Рисунок 6. – Варианты сцены для симуляции (вид сверху)

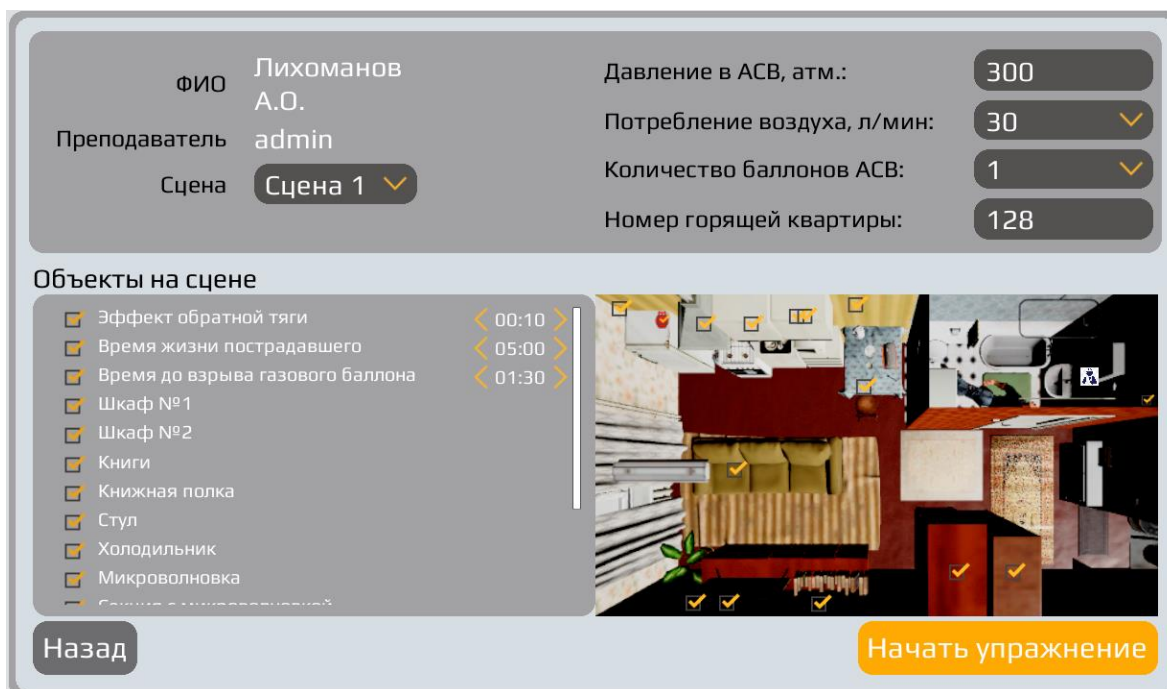


Рисунок 7. – Меню ПО преподавателя для настройки сцены симуляции в ЭМТ

Основной целью обучающегося является выполнение правильного порядка действий по спасению людей и тушению пожара в квартире. Для этого ему необходимо оценить сложившуюся в условиях ЧС обстановку, выполнить разведку на месте ЧС, спасти пострадавших, предотвратить взрыв газового баллона и потушить пожар в квартире.

Прохождение симуляции обучающийся начинает в коридоре (рис. 5а). Экипировка обучающегося в виртуальной среде включает (рис. 8): комплект боевой одежды (шлем, куртка, перчатки, штаны, сапоги), дыхательный аппарат на сжатом воздухе (АСВ) с выносным манометром для контроля давления в баллоне аппарата, панорамную маску, фонари (нагрудный и для крепления на каске), радиостанцию. В коридоре возле него на полу предусмотрено наличие рукавной линии с перекрывным ручным пожарным стволом и (или) огнетушителя.

В начале симуляции обучающийся должен правильно оценить запас воздуха в АСВ и далее периодически отслеживать показания выносного манометра АСВ, для того чтобы вовремя покинуть зону задымления.

В ходе симуляции обучающийся должен пройти по коридору в направлении квартиры, в которой находится очаг пожара (номер квартиры преподаватель сообщает обучающемуся по радиосвязи), проверить номер на входной двери. Открывание двери осуществляется посредством захвата дверной ручки и перемещения двери в открытое положение.



Рисунок 8. – Экипировка обучающегося в симуляции в ЭМТ

При открывании двери может быть предусмотрен выброс пламени (тепловой волны) из помещения (задается преподавателем при выборе сцены). В случае неверного расположения обучающегося при открывании двери на него попадает пламя. В этот же момент VR-костюм имитирует тепловое воздействие на обучающегося за счет воздействия электрическим током через электроды, установленные в VR-костюме, и одновременно осуществляется регистрация ошибки в базе данных. Воздействие электрическим током на обучающегося через VR-костюм также осуществляется в следующих случаях:

- при непрерывном нахождении обучающегося в огне в течение времени, превышающего 5 с;

- при допущении обучающимся критической ошибки (при взрыве газового баллона и нахождении обучающегося в зоне действия взрыва; при непрерывном нахождении обучающегося в огне в течение времени, превышающего 20 с; при тушении пожара посредством ствола, если не был отключен электрический щит; при выбросе пламени в результате эффекта обратной тяги и нахождении обучающегося в зоне ее действия).

При входе в квартиру обучающийся должен визуально оценить обстановку: подтвердить очаг пожара и осуществить поиск видимых причин возможных угроз, пострадавших, при необходимости эвакуировать их в безопасную зону и затем приступить к ликвидации пожара.

Все этапы прохождения симуляции должны сопровождаться передачей обучающимся значимой информации посредством имитации радиообмена.

Завершение симуляции осуществляется при достижении ликвидации пожара (все пострадавшие спасены, все очаги потушены), при допущении обучающимся критической ошибки вручную преподавателем (досрочно).

Размеры виртуального помещения в симуляции исключают возможность обучающегося перемещаться за пределы размеров реального помещения (площадки для размещения ЭМТ). Процессы и явления, происходящие в симуляции, соответствуют законам физики настолько, насколько это позволяет реализовать используемое оборудование и программное обеспечение.

В виртуальной симуляции предусматривается звуковое сопровождение, соответствующее реальной обстановке при пожаре (стоны и крики людей, звуки сирены, пламени и искр, дыма, брызг, разрушения объектов и т.д.), учитывается расположение условного источника звука и его удаленность. В симуляции также обеспечивается возможность взаимодействия обучающегося с преподавателем посредством имитации радиообмена.

Симуляция предусматривает визуальное изменение обстановки в помещениях с учетом общих закономерностей развития пожара. Развитие пожара моделируется с учетом

места возникновения его очага, распространения опасных факторов пожара, их воздействия на окружающие объекты в обучающей сцене, а также предпринимаемых действий обучающегося и преподавателя.

При прохождении у обучающегося есть возможность выполнять следующие действия:

- свободно передвигаться по обучающей сцене;
- обесточивать электрооборудование (путем отключения электрического щита на входе в квартиру);
- открывать/закрывать двери;
- подавать огнетушащее вещество в очаг пожара, при этом учитывается направление и дальность их подачи, а также количество (при использовании технических средств тушения пожара (ручного пожарного ствола, огнетушителя) направление подачи огнетушащего вещества определяется их положением. Время подачи огнетушащего вещества из ручного пожарного ствола не ограничено, а из огнетушителя – ограничено его емкостью, которая задается заранее преподавателем при настройке обучающей сцены);
- проводить поиск и спасение пострадавших;
- перемещать газовый баллон и охлаждать его для предотвращения его взрыва.

В ходе прохождения симуляции обучающийся испытывает физические воздействия, генерируемые VR-костюмом (табл. 2), а также воспринимает визуальные и звуковые эффекты от VR-шлема (стоны, крики, звуки сирены, пламя, вспышки пламени, искры, дым, брызги, падение, разрушение и горение объектов, тушение пожара и т.д.).

Таблица 2. – Имитируемые физические воздействия на обучающегося и соответствующие им ситуации

Компонент ЭМТ	Имитируемый эффект воздействия на обучающегося	Ситуации, при которых в ЭМТ имитируется эффект воздействия на обучающегося
VR-костюм	Поражение электрическим током	– направление струи воды на необесточенное электрооборудование; – непосредственный контакт с элементами оборудования под напряжением
	Взрывная волна	– взрыв газового баллона; – открывание двери и выброс пламени
	Удар летящими элементами	– падение предметов, элементов мебели и отделки; – поражение летящими предметами при взрыве
	Попадание на тело воды	– брызги от струи воды из пожарного ствола
	Тепловое воздействие	– нахождение непосредственно в зоне открытого горения; – расположение у очага пожара во весь рост во время тушения

Захват объектов, предусмотренных в сцене (пострадавших, перекрытого ручного пожарного ствола, огнетушителя, переключателей, газового баллона), осуществляется обучающимся с использованием ручных VR-контроллеров. При наведении руки с контроллером на объект в сцене, доступный для захвата, предусматривается визуальное выделение (подсветка) данного объекта.

Таким образом, разработанный ЭМТ позволяет погрузить обучающегося в близкую к реальной среду ЧС, где ему необходимо выполнить ряд корректных действий по обеспечению безопасности пострадавших и ликвидации пожара в квартире жилого дома. Прохождение обучающей симуляции предусматривает обратную тактильную связь с обучающимися при допущении различного рода ошибок, что должно положительно сказаться на эффективности их обучения, в частности на скорости и качестве запоминания правильных действий в условиях ЧС, в сравнении с использованием при обучении только VR-гарнитуры. С целью оценки данного суждения проведены экспериментальные исследования влияния эффектов обратной тактильной связи на обучающихся.

Исследование влияния эффектов обратной тактильной связи на обучающихся.

Экспериментально определять влияние эффектов обратной тактильной связи на обучающихся нами принято методом измерения частоты их сердечных сокращений (ЧСС) при прохождении симуляции с помощью специального нагрудного датчика – пульсометра Polar H10¹¹. ЧСС является одним из наиболее информативных физиологических показателей, который характеризует психоэмоциональное состояние и реакцию организма на окружающую среду и физическую нагрузку [23; 24]. Сердце человека сжимается благодаря электрическим импульсам, за периодичность которых отвечает вегетативная нервная система. Она не подчиняется сознанию, а работает самостоятельно исходя из текущего состояния организма, что позволяет объективно оценить влияние внешних стимулов на обучающихся.

В проведении эксперимента приняли участие 16 обучающихся университета. Критерии отбора участников были следующими:

- схожий уровень подготовки и опыта в проведении аварийно-спасательных работ, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- возраст от 20 до 23 лет;
- отсутствие опыта использования VR-технологий (VR-шлема, VR-костюма и т.п.).

Отбор по первому критерию (уровень подготовленности обучающихся) осуществлялся на основе объема изученного материала по учебным дисциплинам, развивающим навыки проведения аварийно-спасательных работ, предупреждения и ликвидации ЧС. Под данный критерий, очевидно, подходят обучающиеся, находящиеся на одном курсе обучения на момент проведения исследования. В итоге для проведения эксперимента отбирались обучающиеся 3-го курса специальности 1-94 01 01 «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций» университета.

Эксперимент состоял из ряда этапов. На первом этапе обучающихся ознакомили с порядком проведения эксперимента, а также присвоили порядковые номера каждому из них и распределили по экспериментальным группам «А» и «Б» случайным образом для минимизации системной ошибки отбора:

- группа «А» – проходят симуляцию с VR-гарнитурой и VR-костюмом;
- группа «Б» – проходят симуляцию с VR-гарнитурой, но без использования VR-костюма, т.е. без воздействия обратной тактильной связи.

На втором этапе перед прохождением обучающимися симуляции в ЭМТ у каждого из них измерялась ЧСС в состоянии покоя с помощью нагрудного пульсометра. Прохождение симуляции обучающимися допускалось только в том случае, если ЧСС составляла от 60 до 100 уд/мин.

На третьем этапе обучающиеся поочередно проходили симуляцию в ЭМТ. Для прохождения был выбран первый вариант оформления сцены симуляции (рис. 6) с максимальным возможным наполнением объектами (элементами). По завершении симуляции преподавателю выводилось окно с результатами ее прохождения обучающимся, в частности количество и описание совершенных им ошибок. Во время прохождения симуляции у каждого участника измерялась ЧСС, а по результатам прохождения фиксировались допущенные ошибки и их количество.

На четвертом этапе, который проводился спустя 7 суток после завершения третьего этапа, представителям экспериментальных групп давалась одна попытка на прохождение симуляции для определения степени запоминания действий спасателя-пожарного в условиях пожара в квартире жилого дома. Далее представлены обобщенные результаты экспериментальных данных и их анализ.

¹¹ Polar H10 [Электронный ресурс] / Polar H10 | Polar Global. – Режим доступа: <https://www.polar.com/en/sensors/h10-heart-rate-sensor>. – Дата доступа: 01.07.2022.

Оценивание влияния эффектов обратной тактильной связи на обучающихся в двух экспериментальных группах проводилось путем сравнения наибольшего изменения ЧСС в течение 5 с после прохождения опорной точки симуляции либо при прохождении опорной зоны симуляции. В данном исследовании под опорной точкой симуляции подразумевается наступление такого события (момента) при ее прохождении, когда происходит электростимуляция нервно-мышечных структур обучающихся с помощью электродов VR-костюма (обратная тактильная связь). Также рассматривались и опорные зоны симуляции – это наиболее напряженные с точки зрения психоэмоционального состояния и физической нагрузки участки симуляции, на которых обучающиеся выполняют набор обязательных для прохождения симуляции действий (в опорных зонах какого-либо воздействия VR-костюма на обучающегося не происходит). Перечень и описание опорных точек и зон симуляции представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Опорные точки и зоны симуляции в ЭМТ

Опорные точки симуляции	Опорные зоны симуляции
Обратная тяга (при открывании двери в помещении)	Поиск и эвакуация пострадавшего
Ожог (при длительном нахождении в пламени)	Тушение очагов пожара
Поражение током	

На рисунке 9 представлен график изменения ЧСС при прохождении симуляции одним из обучающихся из экспериментальной группы «А». На графике отмечены опорные точки и зоны симуляции. Каждый обучающийся из обеих экспериментальных групп проходил симуляцию 6 раз. По результатам каждого прохождения составлялась зависимость ЧСС от времени и определялось изменение данного показателя в опорных точках и зонах. Результаты для обеих групп представлены на рисунке 10.

По данным, представленным на рисунке 10, можно заметить, что при прохождении обучающимися группы «А» опорных точек симуляции (которые сопровождаются электростимуляцией от VR-костюма, рис. 10 а, б, в) их ЧСС увеличивается на большую величину по сравнению с обучающимися из группы «Б» (в среднем разница составляет 6 уд/мин). При аналогичном сравнении двух экспериментальных групп при прохождении опорных зон (которые не сопровождаются электростимуляцией, рис. 10 г, д) видно, что ЧСС также увеличивается больше в группе «А», однако разница уже не так велика и в среднем составляет 2 уд/мин.

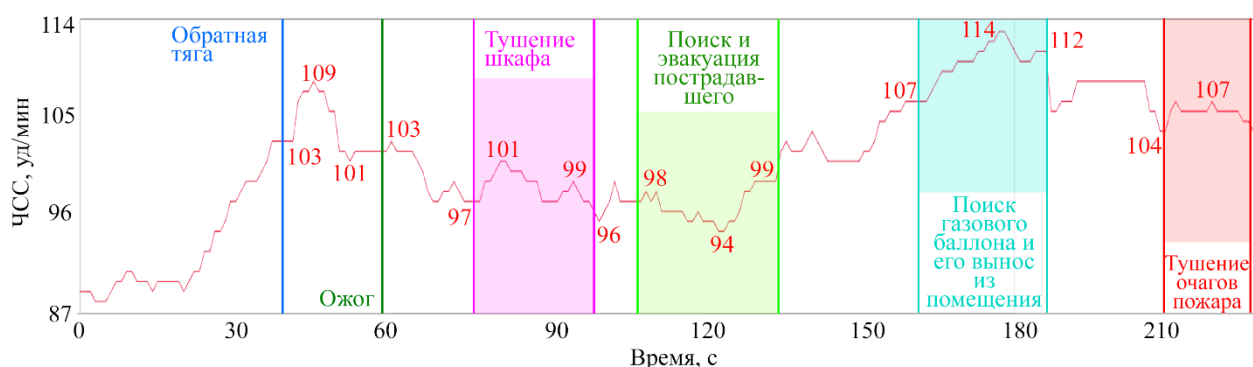
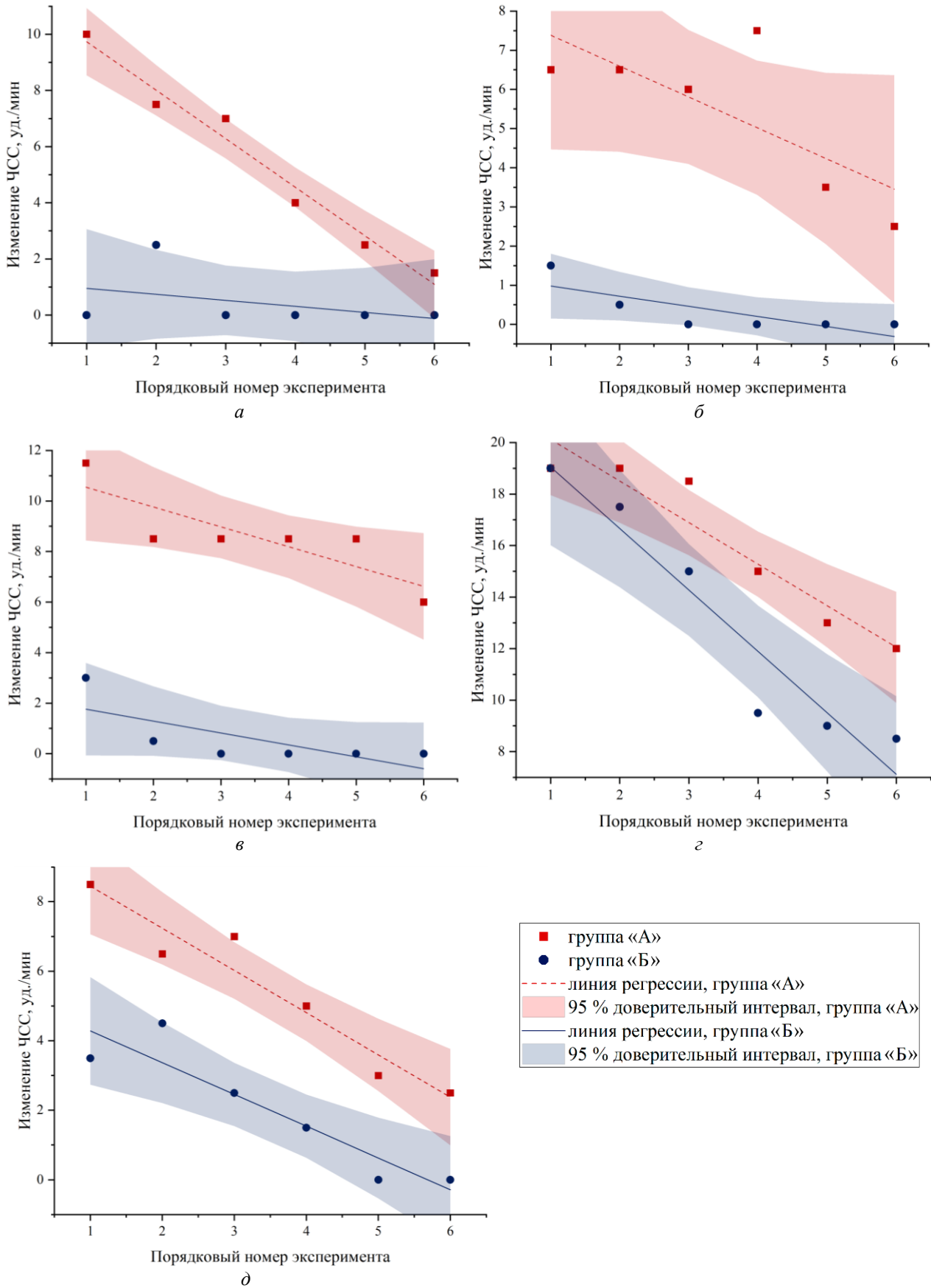


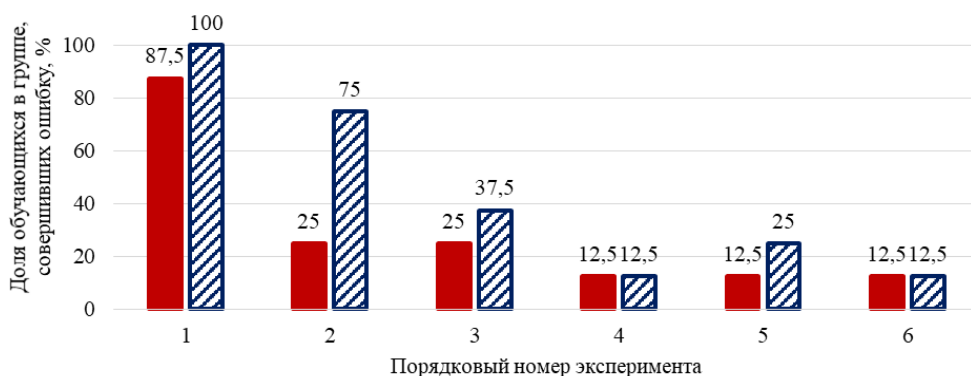
Рисунок 9. – График изменения ЧСС одного из обучающихся из группы «А» во время прохождения симуляции в ЭМТ



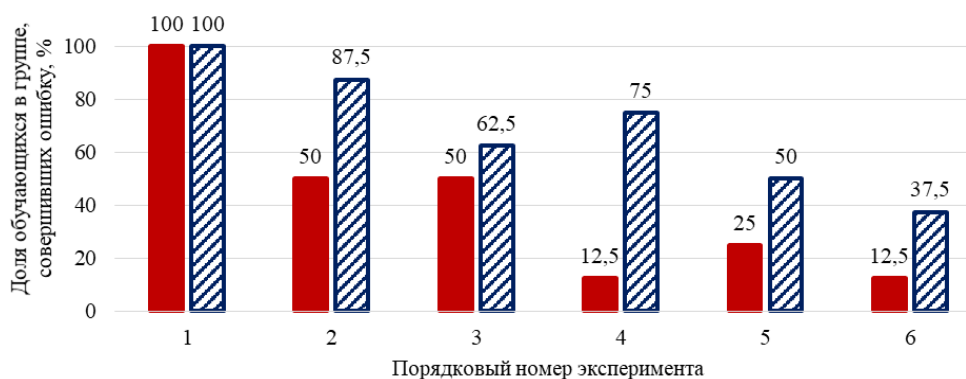
а – обратная тяга; б – ожог; в – поражение током; г – поиск и эвакуация пострадавшего; д – тушение очагов пожара
Рисунок 10. – Зависимость наибольшего изменения ЧСС в течение 5 с после прохождения опорной точки симуляции (а, б, в) либо при прохождении опорной зоны симуляции (г, д, е, ж) от порядкового номера эксперимента (попытки прохождения симуляции обучающимся)

Также следует отметить, что при прохождении опорных точек обучающимися из группы «Б» их ЧСС остается практически неизменной, начиная уже со второй попытки прохождения симуляции, в то время как представители экспериментальной группы «А» демонстрируют повышение ЧСС вплоть до шестой попытки (рис. 10 а, б, в). Таким образом, обучающиеся группы «А» постоянно испытывают напряжение при прохождении симуляции, что в итоге отражается и на результативности обучения.

На рисунке 11 представлены данные о доле обучающихся в экспериментальных группах, совершивших ошибки при прохождении симуляции в ЭМТ. Из рисунка видно, что обучающиеся из группы «А» быстрее запоминают ошибки и уже со второй попытки больше половины из них не совершают ни одно из перечисленных неправильных действий, в то время как обучающимся в группе «Б» понадобилось 4–5 попыток для достижения аналогичного результата.



а – не удался на безопасное расстояние после открывания двери в помещении (поражение пламенем в результате обратной тяги)



б – неосторожное передвижение в горящем помещении (получение ожогов)

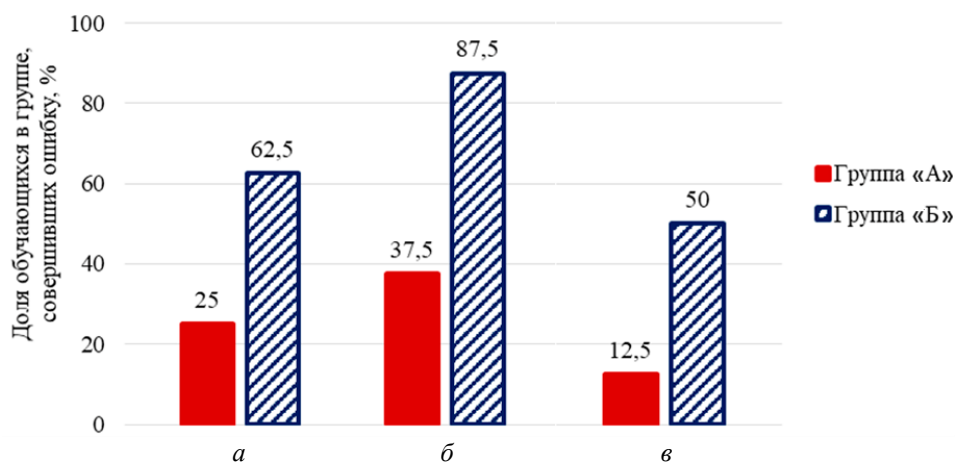


■ Группа «А» ■ Группа «Б»

в – не отключено электричество в квартире (поражение током)
 Рисунок 11. – Доля обучающихся в экспериментальных группах, совершивших ошибки при прохождении симуляции в ЭМТ

Вместе с тем примечателен и тот факт, что с каждой следующей попыткой изменение ЧСС в опорных точках в группе «А» постепенно становится меньше (в среднем опускается с 9 до 3 уд/мин при сравнении первого и шестого эксперимента, см. рис. 10 *а, б, в*). То есть помимо более эффективного запоминания совершенных ошибок и, соответственно, правильных действий в условиях пожара у обучающихся группы «А» формируется устойчивость к стрессовому состоянию в результате электростимуляции нервно-мышечных структур при совершении ошибок.

По результатам четвертого этапа исследований, который проводился спустя 7 суток после третьего этапа и во время которого представителям экспериментальных групп давалась одна попытка на прохождение симуляции для определения степени запоминания действий спасателя-пожарного в условиях пожара в квартире жилого дома, получены данные о доле обучающихся, совершивших ошибки при прохождении симуляции в ЭМТ (рис. 12).



а – не удался на безопасное расстояние после открывания двери в помещение (поражение пламенем в результате обратной тяги); *б* – неосторожное передвижение в горящем помещении (получение ожогов); *в* – не отключено электричество в квартире (поражение током)

Рисунок 12. – Доля обучающихся в экспериментальных группах, совершивших ошибки при прохождении симуляции в ЭМТ в итоговом эксперименте

Из рисунка 12 видно, что степень запоминания материала обучающимися из группы «А», прохождение обучающей симуляции которых сопровождалось обратной тактильной связью, существенно выше по сравнению с обучающимися из группы «Б», в которой использовалась только VR-гарнитура (VR-шлем и ручные VR-контроллеры). Так, только 2 обучающихся из группы «А» были поражены пламенем в результате обратной тяги, при этом в группе «Б» – 5. В 2,5 раза меньше обучающихся из группы «А» получили ожоги во время итогового эксперимента, а поражены током в 4 раза меньше по сравнению с группой «Б».

Кроме того, при проведении третьего и четвертого этапа исследований было отмечено, что при электростимуляции от VR-костюма во время имитации поражения током (в симуляции прикосновение к предмету под напряжением), обучающиеся рефлекторно отходили от опасного предмета и передвигались по помещению как можно дальше от него. Это происходило даже в тех попытках, когда на входе в помещение обучающиеся уже предварительно отключали электричество. Аналогичный эффект наблюдался и с очагами пожара – обучающиеся из группы «Б» старались проходить мимо них на максимально возможном удалении, поскольку при нахождении в огне на обучающихся также воздействовал электрический импульс от костюма обратной тактильной связи. В группе «А» большая часть обучающихся аккуратность не проявляла, что отразилось в незначительном повышении ЧСС (рис. 10 *а, б, в*) и в большем количестве ошибок (рис. 11 и 12).

Заключение

Результаты исследования показали, что применение экспериментального макета тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности в образовательном процессе при подготовке спасателей-пожарных позволяет снизить количество ошибок, совершаемых обучающимися при ликвидации пожара в квартире жилого дома в виртуальной симуляции, от 2,5 до 4 раз по сравнению с использованием технологий виртуальной реальности без применения эффектов обратной тактильной связи.

Результаты исследований могут быть применены при разработке тренажера для использования в образовательном процессе для автоматизации и повышения качества подготовки спасателей-пожарных посредством погружения их в виртуальную среду, имитирующую условия чрезвычайной ситуации и воздействие на обучающихся опасных факторов, которые крайне сложно и экономически нецелесообразно воссоздавать в реальности.

В рамках дальнейших исследований планируется:

- исследовать возможность одновременного командного прохождения симуляции несколькими обучающимися;
- исследовать возможность применения физических муляжей, оборудованных трекерами виртуальной реальности (например, огнетушитель, пожарный ствол, газовый баллон, манекены пострадавших и т.д.);
- выполнить интеграцию тренажера с перчатками виртуальной реальности с обратной тактильной связью, которые позволят расширить спектр эффектов обратной тактильной связи при взаимодействии с виртуальными объектами;
- увеличить вариативность сценариев (перечень ЧС, объектов, помещений и т.д.), а также настроек внутри сценариев;
- выполнить экспериментальное сравнение эффективности традиционных методов обучения и метода обучения с использованием тренажера виртуальной реальности с обратной тактильной связью для подготовки спасателей-пожарных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев, В.Ю. Интерактивные методы обучения как основа формирования компетенций / В.Ю. Соболев, О.В. Киселева // Высшее образование сегодня. – 2014. – № 9. – С. 70–74. – EDN: TAAHDZ.
2. 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. – EDN: YVRGBV.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Гриншкун, А. В. Об эффективности использования технологий дополненной реальности при обучении школьников информатике / А.В. Гриншкун // Вестник МГПУ. Серия «Информатика и информатизация образования». – 2016. – Т. 35, № 1. – С. 98–103. – EDN: VTSHV.

9. Кирьянов, А.Е. Технологии дополненной реальности в сфере образования / А.Е. Кирьянов [и др.] // *Инновации*. – 2020. – № 5. – С. 81–88. – DOI: 10.26310/2071-3010.2020.259.5.011. – EDN: SBPTSB.
10. 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.
11. 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. 8, № 13. – P. 4419–4436. – DOI: 10.12973/eurasia.2017.00938a.
12. 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. 6, № 24. – P. 1148–1161. – DOI: 10.1080/10494820.2014.961486.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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. 627–696. – DOI: 10.1080/14703297.2015.1108856.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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. – EDN: FBWWE0.
23. Halson, Sh.L. Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes / Sh.L. Halson // *Sports Medicine*. – 2014. – Vol. 44. – P. 139–147. – DOI: 10.1007/s40279-014-0253-z.
24. Агафонова, М.Е. Методы контроля и критерии функциональной подготовленности, применимые в условиях тренировочных занятий и соревнований / М.Е. Агафонова // *Современные модели медико-биологического сопровождения высококвалифицированных спортсменов: сб. ст. / Белорус. гос. ун-т физической культуры*. – Минск, 2021. – С. 3–12. – Режим доступа: https://www.sportedu.by/wp-content/uploads/2019/10/Nauchno-prakticheskij-seminar-8_6.04.pdf. – Дата доступа: 01.07.2022.

Экспериментальный макет тренажера с имитацией эффектов физических воздействий в условиях виртуальной реальности для подготовки спасателей-пожарных

Experimental model of the simulator with imitation of the effects of physical impacts in virtual reality for the training of firefighters

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

Рябцев Виталий Николаевич

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

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

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

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

Грачулин Александр Владимирович

кандидат технических наук, доцент

Министерство по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь, отдел науки
и инновационного развития,
начальник отдела

Адрес: ул. Революционная, 5,
220030, г. Минск, Беларусь

Email: Grachulin_a@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3832-8258

Aleksandr V. Grachulin

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Ministry of Emergency Situations
of the Republic of Belarus, Department
of Scientific and Innovation Activity,
Head of Department

Address: Revolyutsionnaya str., 5,
220030, Minsk, Belarus

Email: Grachulin_a@mail.ru

ORCID: 0000-0003-3832-8258

Гапанюк Дмитрий Владимирович

кандидат физико-математических наук,
доцент

Белорусский государственный
технологический университет,
проректор по воспитательной работе

Адрес: ул. Свердлова, 13а,
220006, г. Минск, Беларусь

Email: gdv@belstu.by

ORCID: 0000-0001-6792-7896

Dmitriy V. Gapanyuk

PhD in Physics and Mathematics Sciences,
Associate Professor

Belarusian State Technological University,
Vice-rector for Educational Work

Address: Sverdlova str., 13a,
220006, Minsk, Belarus

Email: gdv@belstu.by

ORCID: 0000-0001-6792-7896

Морозов Артем Александрович

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: morozow974@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8079-2578

Artem A. Morozov

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: morozow974@gmail.com

ORCID: 0000-0001-8079-2578

Климовцов Василий Михайлович

кандидат технических наук, доцент

Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России, учебно-научный
комплекс пожарной и аварийно-спасательной
техники, начальник комплекса

Адрес: ул. Бориса Галушкина, 4,
129366, г. Москва, Россия

Email: V.Klimovcov@academygps.ru

ORCID: 0000-0002-3705-3128

Vasily M. Klimovtsov

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Academy of State Fire Service of EMERCOM
of Russia, Educational and Scientific Complex
of Fire and Rescue Equipment,
Head of Complex

Address: Borisa Galushkina str., 4,
129366, Moscow, Russia

Email: V.Klimovcov@academygps.ru

ORCID: 0000-0002-3705-3128

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

Шинкоренко Кирилл Евгеньевич

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,
220118, г. Минск, Беларусь
Email: kirill_shinkorenko@inbox.ru
ORCID: 0000-0003-4946-9339

Kirill E. Shinkorenko

State Educational Establishment «University
of Civil Protection of the Ministry for Emergency
Situations of the Republic of Belarus»,
Chair of Automatic Safety Systems,
Lecturer

Address: Mashinostroiteley str., 25,
220118, Minsk, Belarus
Email: kirill_shinkorenko@inbox.ru
ORCID: 0000-0003-4946-9339

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

Бобарика Илья Владимирович

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: Kimwar18@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9229-3730

Ilya V. Bobarika

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: Kimwar18@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9229-3730

EXPERIMENTAL MODEL OF THE SIMULATOR WITH IMITATION OF THE EFFECTS OF PHYSICAL IMPACTS IN VIRTUAL REALITY FOR THE TRAINING OF FIREFIGHTERS

Palevoda I.I., Ryabtsev V.N., Likhomanov A.O., Navrotskiy O.D., Grachulin A.V., Gapanyuk D.V., Morozov A.A., Klimovtsov V.M., Vinyarskiy G.V., Shinkorenko K.E., Gusarov I.S., Bobarika I.V.

Purpose. To develop an experimental model of a simulator for the training of firefighters, including software and elements of simulating the effects of physical impacts on students in virtual reality conditions, as well as to investigate the effect of tactile feedback effects on students.

Methods. The general methodology of the work included the use of theoretical research methods (analysis, synthesis, comparison). The impact of tactile feedback effects on students was determined by measuring their heart rate in the randomized study with two parallel groups.

Findings. Based on the analysis of the experience of using virtual and augmented reality technologies in educational activities, the purpose, composition, structure and functions of the experimental model of the simulator with imitation of the effects of physical impacts in virtual reality for the training of firefighters (EMS) are formulated. EMS includes VR headset (to control the simulation and transmit visual and sound effects), VR suit (to provide tactile feedback by the electrical stimulation of neuromuscular structures) and original software. It allows students to be immersed in a virtual environment that simulates conditions of the emergency situation (fire in an apartment building) and the impact of dangerous factors on them. Using EMS, the influence of tactile feedback effects on students was studied. It is shown that the use of EMS makes it possible to reduce the number of mistakes made by students when extinguishing a fire in an apartment building in a virtual simulation by 2.5 to 4.0 times compared to using virtual reality technologies without applying tactile feedback effects.

Application field of research. The results of the work can be used to create a simulator with imitation of the effects of physical impacts in virtual reality in order to use it in the educational process for the training of firefighters.

Keywords: virtual reality, augmented reality, simulator, simulation of physical impacts, emergency rescue operations, firefighter, rescuer, VR suit, VR headset, VR helmet.

(The date of submitting: July 13, 2022)

REFERENCES

1. 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). EDN: TAAHDZ.
2. 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. Pedagogical science*, 2018. No. 6. Pp. 5–10. (rus). EDN: YVRGBV.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Grinshkun A.V. Ob effektivnosti ispol'zovaniya tekhnologiy dopolnennoy real'nosti pri obuchenii shkol'nikov informatike [On the effectiveness of the use of augmented reality at teaching students

- computer science]. *MCU Journal of Informatics and Informatization of Education*, 2016. Vol. 35, No. 1. Pp. 98–103. (rus). EDN: VTIIHV.
9. Kir'yanov A.E., Yilmaz R.M., Maslov D.V., Masyuk N.N., Vorob'ev 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. EDN: SBPTSB.
 10. 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.
 11. Mumtaz K., Iqbal M.M., Khalid S., 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.
 12. 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.
 13. 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.
 14. 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.
 15. Fabiani Bendicho P., Efen Mora C., 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.
 16. 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.
 17. 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.
 18. 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. 627–696. DOI: 10.1080/14703297.2015.1108856.
 19. 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.
 20. 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.
 21. 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.
 22. 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]. *MCU Journal of Informatics and Informatization of Education*, 2020. Vol. 54, No. 4. Pp. 68–78. (rus). EDN: FBWWE0.
 23. Halson Sh.L. Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine*, 2014. Vol. 44. Pp. 139–147. DOI: 10.1007/s40279-014-0253-z.
 24. Agafonova M.E. Metody kontrolya i kriterii funktsional'noy podgotovlennosti, primenimye v usloviyakh trenirovochnykh zanyatiy i sorevnovaniy [Methods of control and criteria for functional readiness applied in the conditions of training sessions and competitions]. *Sovremennyye modeli mediko-biologicheskogo soprovozhdeniya vysokokvalifitsirovannykh sportsmenov* [Modern models of medical and biological support for highly qualified athletes]: collection of articles. Minsk: Belarusian State University of Physical Education, 2021. Pp. 3–12. Available at: https://www.sportedu.by/wp-content/uploads/2019/10/Nauchno-prakticheskij-seminar-8_6.04.pdf (accessed: July 1, 2022). (rus)