

Визуализация цифровой трансформации промышленного производства в образовательный процесс

В.А. Немтинов^{1,А}, А.Б. Борисенко^{2,А}, В.В. Морозов^{3,А}, Ю.В. Немтинова^{4,А,В},
К.В. Немтинов^{5,А}

^А Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

^В Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, Тамбов, Россия

¹ ORCID: 0000-0003-2917-3610, nemtinov.va@yandex.ru

² ORCID: 0000-0001-9315-6167, borisenko.ab@mail.tstu.ru

³ ORCID: 0000-0001-8839-3387, slavok86@mail.ru

⁴ ORCID: 0000-0001-9047-2535, julia.nemtinova@yandex.ru

⁵ ORCID: 0000-0001-7830-300X, kir155@mail.ru

Аннотация

В работе рассмотрена технология создания цифрового прототипа промышленного производства, используемого в качестве инструмента на стадиях проектирования и управления его функционированием, а также применения в учебном процессе при подготовке специалистов высшей квалификации технического профиля - при проведении лекций, практических и зачетных занятий со студентами. Создание виртуального производственного пространства осуществлено с использованием программных сред Twinmotion, Bigscreen и 3D Vista Virtual Tour Pro. В программной среде Twinmotion был создан цифровой прототип машиностроительного завода, обеспечивающий иммерсивную архитектурную 3D-визуализацию. Созданный виртуальный тур в среде 3DVista Virtual Tour Pro используется для множества задач: удалённое обсуждение 3D-модели проектируемого оборудования; обучение персонала; отработка действий во время аварийных ситуаций; прохождение образовательных квестов по территории предприятия. Инструмент Live Guided Tours, входящий в 3DVista Virtual Tour Pro. позволяет проводить видеоконференции внутри виртуального тура в режиме реального времени. Применение многопользовательского социального VR-приложения для виртуальной реальности Bigscreen обеспечивает участникам сети возможность встречаться и взаимодействовать через аватары внутри комнат в виртуальной реальности. Таким образом, авторы предложили подход к цифровой трансформации промышленного производства в образовательный процесс. Она позволяет обеспечить условия для повышения качества образования, обмена мнениями, взаимного консультирования. Визуализация цифрового прототипа промышленного производства доступна всем пользователям сети Интернет.

Ключевые слова: цифровая трансформация, виртуальная реальность, технология создания цифрового прототипа промышленного производства, виртуальный тур, Twinmotion, электронное обучение, LMS Moodle, 3D Vista Virtual Tour Pro, Bigscreen.

1. Введение

Технологии виртуальной и дополненной реальности (VR / AR) уже в 2017 г. стали одними из важнейших цифровых технологий, послуживших фундаментом для осуществления программы «Цифровая экономика РФ». К этому времени миллионы зарубежных и отечественных корпораций уже убедились, что VR / AR-реальность – удобный и эффективный инструмент, который необходим для решения различных задач

для реализации цифровой трансформации производства. Технология с каждым годом представляет производству всё больше инновационных проектов, новых возможностей, которые открываются в процессе исследований эффективности цифровых решений [1]. Цифровизация общества сейчас является основной задачей экономики, которая в свою очередь невозможна без цифровизации производства.

Инструменты VR / AR могут активно использоваться на протяжении всего жизненного цикла изделия: для выявления ошибок на самых ранних этапах проектирования до прохождения макетных комиссий, улучшения эргономики и всего производственного процесса в целом, отрабатывая процессы эксплуатации, модернизации ремонта.

VR / AR технологии позволяют оказаться на операторском рабочем месте внутри проектируемого изделия, проверить его различные эксплуатационные характеристики, технические требования, доступ к различным узлам изделия для их удобного монтажа и ремонта.

Активно развивается сфера применения VR / AR технологий на производстве для имитации монтажа нового оборудования, что позволяет экономить время затраченное на его проектирование. Разработанные модели оборудования можно параллельно использовать для обучения операторов работающих на нём. В итоге на новом участке сотрудники будут сразу готовы взяться за работу, сэкономив время на обучении.

Такие параллельные процессы позволяют ускорить настройку производственных линий, оборудования, что будет иметь экономический эффект для предприятия [2]. Технологии виртуальной и дополненной реальности позволяют осуществлять более эффективно компоновку оборудования, позволяют подобрать оптимальные цветовые решения для проектируемых изделий, удовлетворяющих потребностям заказчика. С помощью VR / AR технологий можно смоделировать аварийную ситуацию. Зачастую испытывать внештатные случаи в реальности достаточно опасно и дорого, поэтому персонал знаком только с теорией, как действовать в том или ином случае. Виртуальная реальность позволяет сотрудникам предприятия быть более подготовленным как действовать в любой опасной ситуации. Цифровое пространство позволяет выполнять проектирование и обсуждение результатов, параллельно объединив в едином информационном поле специалистов различных направлений, которым не нужно быть в одном помещении, но важно быть в одном виртуальном пространстве, что обеспечивают VR-шлемы и специальное программное обеспечение. Всё это позволяет экономить время на командировках и согласовании проектов.

Системы виртуальной реальности начали использовать компании-гиганты уже достаточно давно. Например Boeing, Lockheed Martin использовали технологию «VR-cave» («пещеры» виртуальной реальности). Достаточно долго «VR-пещеры» и проекционные стереоэкраны (CAD-Wall) являлись основной системой VR для реализации промышленных задач. Данные системы позволяли находиться в одном виртуальном пространстве команде разработчиков, при этом взаимодействовать с VR мог только один человек [1].

Сейчас в мире реализуется множество проектов с виртуальной и дополненной реальностью, например, в металлообрабатывающей промышленности, в системе мониторинга оборудования и в аналитических службах, помогающих персоналу в диагностике оборудования, прогнозе неисправностей и т.п. Данная технология, используемая на производстве, описана в работах [3, 4]. Она имеет значительные преимущества по сравнению с визуализацией аналитических сервисов на экранах компьютеров. Виртуальный мир содержит программную часть, состоящую из сервисов, модулей и алгоритмов и может управлять физическим миром. Система мониторинга использует большие данные, собранные с множества датчиков, устанавливаемых на оборудование. Для их анализа необходимо обработать полученные данные для последующего анализа человеком (см. рис.1).

Программная среда 3D Vista Virtual Tour Pro позволяет создавать виртуальные туры по виртуальному пространству, позволяющих, в том числе, проводить персональные и

групповые интерактивные экскурсии с экскурсоводом [5]. В 2020 году разработчики этой программной среды значительно улучшили ее функции, предназначенные для электронного обучения, в том числе и создание квестов, позволяющих закрепить полученные знания, а также автоматическая интеграция с LMS Moodle [6]. Использование этих функций является основой для интерактивного обучения.

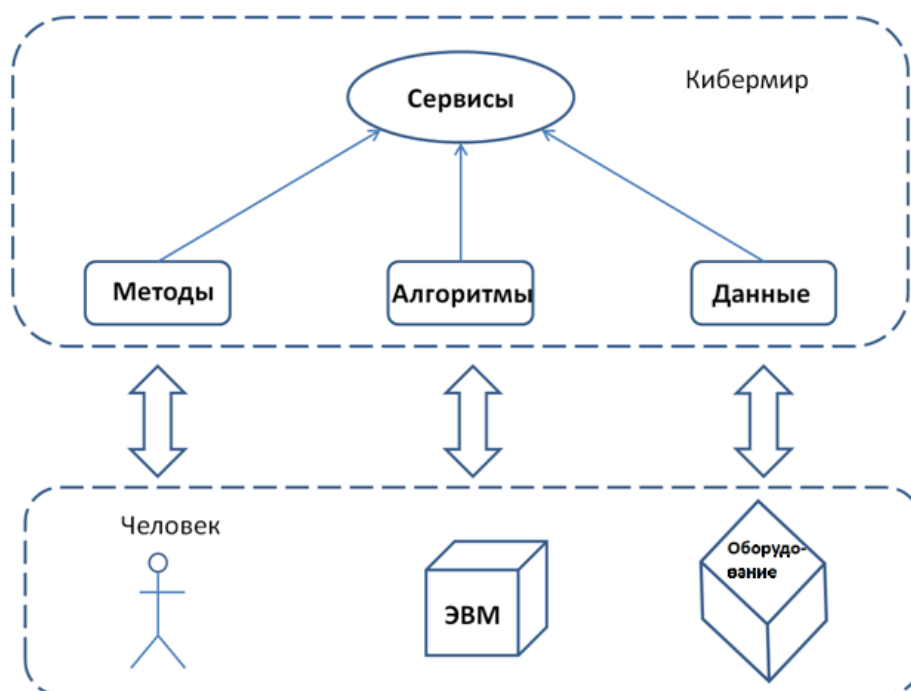


Рис. 1. Схема взаимодействия человека с цифровым прототипом оборудования

С помощью этого программного обеспечения можно создавать высококачественные панорамы с использованием в том числе технологии 360° (фото и видеосъемка в формате 360 градусов) и поддержкой современных устройств виртуальной реальности: Samsung GearVR, Oculus, HTC Vive, Google Cardboard.

Одним из достоинств программы является то, что виртуальные туры, созданные с помощью программного обеспечения 3D Vista Virtual Tour Pro, являются мультиплатформенными и могут просматриваться на Mac, PC, iPhone/iPad и Android в любом современном Web-браузере (Firefox, Microsoft Edge, Chrome, Safari и т. д.) без загрузки каких дополнительных программ, проигрывателей или плагинов.

Авторами ранее были выполнены работы, касающиеся разработки и применения виртуальной реальности в области реконструкции исторических объектов [7, 8], а также в области образования [9, 10].

В настоящее время многие промышленные компании внедряют концепции виртуального производства, чтобы противостоять глобальной конкуренции и основным производственным проблемам. В этих условиях использование виртуального производства и его цифрового представления делают эти процессы еще более важными для оптимизации производственной деятельности. В процессе быстро меняющейся информации, технологии, цифровые инструменты и системы используются во всех отраслях при управлении разнообразными задачами на протяжении всего жизненного цикла продукта [11].

В связи с этим в данной работе рассмотрены вопросы цифровой трансформации промышленного производства в образовательный процесс, обеспечивающей повышение качества образования, обмена мнениями, взаимного консультирования.

2. Создание цифрового прототипа промышленного производства

При реализации технологии создания цифрового прототипа промышленного производства на примере машиностроительного завода на первом этапе создается макет всей территории, включая ближайшие к заводу территории с имеющейся вокруг природной экосистемой с помощью программы Twinmotion, обеспечивающей архитектурную 3D-визуализацию [12, 13].

Twinmotion является своего рода «обёрткой» над Unreal Engine, разработанный специально для создания фотореалистичных архитектурных и ландшафтных визуализаций [14]. Пользователю предоставлена возможность менять материалы элементов сцены, варьировать сезон и погоду, устанавливать нужное время суток, формировать ландшафт, распределять по сцене искусственное освещение и звуки окружающей среды. Возможен импорт трёхмерных моделей в различных графических форматах, при этом проблем с количеством полигонов не возникает. Система позволяет расставить и настроить виртуальные камеры в требуемых местах сцены, для получения высококачественных как обычных изображений и видео, так и видео и панорам в формате 360°. Данный программный продукт обладает продвинутой системой освещения и теней. В том числе используется физическая модель атмосферы, солнца и неба, точно отражающая реальное географическое местоположение сцены, времена года и время суток. Поддерживаются такие эффекты как туман, дымка, пыль или дым. Система растительности представлена высокополигональными моделями деревьев, кустов и травы из коллекций Xfrog Xlang и Megascans, причем используются различные модели для каждого времени года. Следует также отметить такой инструмент, как Twinmotion Presenter, позволяющий подготовить проект в виде отдельного исполняемого файла со всеми необходимыми ресурсами для автономного просмотра. Как сама система Twinmotion, так и Twinmotion Presenter поддерживают очки виртуальной реальности, в частности Oculus Rift, HTC VIVE.

В системе Twinmotion создается 3D-сцена, включающая в т.ч. рельеф, дороги, системы коммунальной инфраструктуры, а также импортированные трехмерные модели промышленных объектов, выполненные в программах 3D-моделирования (SketchUp, Blender, Archicad и др.) [8]. Таким образом, в Twinmotion создаётся модель всего производства (см. рис. 2).



Рис. 2. Визуализация общего вида цифровой модели территории машиностроительного завода

Далее в требуемых местах сцены необходимо расставить и настроить виртуальные камеры, после чего получить отрендеренные средствами Twinmotion высококачественные видео и изображения, в том числе видео и изображения в формате 360°.

На следующем этапе создается интерактивный виртуальный тур с помощью программной среды 3D Vista Virtual Tour Pro, в котором используются полученные на предыдущем этапе мультимедийные материалы. Создаваемые туры можно просматривать онлайн и офлайн на любом устройстве и без необходимости установки какого-либо специального программного обеспечения или плагинов (см. рис. 3). Виртуальный тур по машиностроительному предприятию размещен по адресу: <https://heritage.tstu.ru/memorial/directaccess/zavod/index.htm>.

Созданный виртуальный тур может использоваться для множества задач: удалённое обсуждение 3D-модели проектируемого оборудования; обучение персонала; отработка действий во время аварийных ситуаций; прохождение образовательных квестов по территории предприятия. В качестве примера рассмотрены задачи компоновки оборудования и трассировки трубопроводных систем в производственном помещении, а также реализации технологических процессов изготовления отдельных деталей и узлов машиностроительной продукции [15–18]. В частности, в виртуальном пространстве можно проанализировать соблюдение ограничений на: взаимное расположение станочного оборудования; непересечение зон обслуживания станков и элементов строительных конструкций; размеры проходов; расстояние между трубопроводами; расстояние между трубопроводами и станками и др. [19–23].



Рис. 3. Визуализация одного из фрагментов панорамы виртуального тура внутри цеха завода

При реализации технологических процессов изготовления машиностроительной продукции можно визуально убедиться в наличии: необходимых видов сортамента материалов (сталей), используемых для изготовления деталей (листа, полосы, круга, квадрата и др.) на складе; основного технологического и вспомогательного оборудования, приспособлений, вспомогательных материалов и др. [24–26].



Рис. 4. Визуализация одного из фрагментов панорамы внутри одного из цехов завода во время удалённого обсуждения функционирования оборудования

Визуализация одного из фрагментов панорамы внутри цеха завода во время удалённого обсуждения функционирования оборудования приведена на рис. 4, на котором слева показан пульт управления роботизированным комплексом, а на переднем плане – робот KUKA KR 6. С помощью данного комплекса осуществляется сварка элементов рам различных конфигураций. Роботизированная сварка – это полностью автоматизированный сварочный процесс, реализованный с помощью роботов-манипуляторов и специального сварочного оборудования.

На рис. 5 проиллюстрирован один из производственных участков, в состав которого входит роботизированный сварочный комплекс фирмы KUKA. Первый робот (слева) берет стальную раму со специального поддона и помещает ее на главный конвейер. Затем рама перемещается ко второму роботу, который забирает стальной лист для гибки со специального поддона и укладывает его на подготовленную раму. Сборка (рама + стальной лист) перемещается к следующему роботу. Третий робот сваривает сборку вместе и далее сварная конструкция перемещается к последнему роботу и помещается на поддон.

Для реализации данной функции используется инструмент Live Guide Tours, входящий в пакет 3D Vista Virtual Tour Pro и позволяющий проводить видеоконференции внутри виртуального тура в режиме реального времени (см. рис. 4). Таким образом, преподаватель в удаленном режиме может проводить лекции, практические и зачетные занятия. На рис. 5 проиллюстрирован этап проведения квеста, в ходе которого проверяются полученные знания.

Проверку полученных знаний в рамках электронного обучения с использованием системы LMS Moodle можно осуществить в ходе прохождения квестов [27–30]. В качестве примера в таблице 1 приведен фрагмент базы вопросов при проверке знаний при эксплуатации отдельных видов станочного оборудования (жирным шрифтом отмечены правильные ответы).

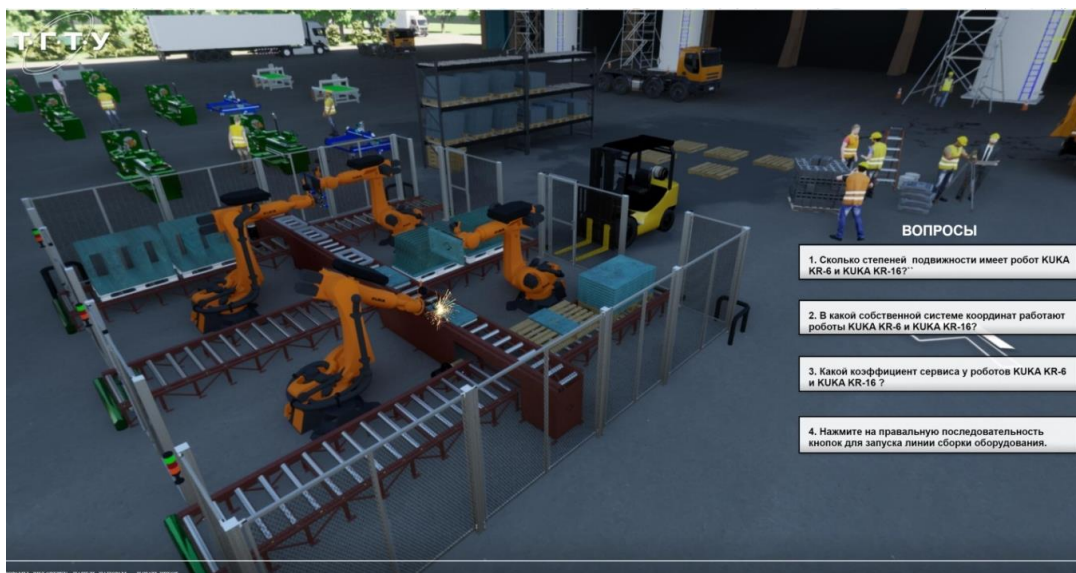


Рис. 5. Визуализация производственного участка, включающего роботизированный сварочный комплекс фирмы KUKA

Система Live Guide Tours не поддерживает специальные устройства виртуальной реальности, такие как очки и шлемы и функционирует на компьютерах, ноутбуках, планшетах и мобильных устройствах.

Таблица 1 Фрагмент базы вопросов при проверке знаний при эксплуатации отдельных видов станочного оборудования

Вопросы	Варианты ответа	Кол-во баллов за правильный ответ	Максимальное время на ответ (мин.), ∞ - нет ограничений
Сколько степеней подвижности имеет робот KUKA KR 6 и KUKA KR 16?	3	10	5
	4		
	6		
В какой собственной системе координат работают роботы KUKA KR-6 и KUKA KR-16?	Цилиндрическая	10	5
	Ангулярная		
	Декартова		
Какой коэффициент сервиса у роботов KUKA KR 6 и KUKA KR 16?	Вкл. питание - запустить сборку -запустить сварку -пуск цикла	10	∞
	Вкл. питание - пуск цикла - запустить сборку - запустить сварку		
	Пуск цикла - запустить сборку - запустить сварку - вкл. питание		
...

Чтобы обеспечить участникам возможность встречаться и взаимодействовать через аватары внутри виртуальной реальности авторы применили многопользовательское социальное VR-приложение Bigscreen [31, 32]. Особенностью системы Bigscreen является то, что пользователи могут не просто общаться в одной виртуальной локации и, например, совместно просматривать фильмы в виртуальном кинозале, но и демон-

стрировать экран своего компьютера другим пользователям, подключенным к системе. Это даёт уникальную возможность транслировать окно любого запущенного на компьютере приложения другим участникам на большой виртуальный экран, отображаемый внутри устройств виртуальной реальности, организуя, таким образом, процесс совместной работы, обучения и пр. Использование виртуальной среды позволяет более глубоко погрузиться в обсуждаемую тему, визуализировать идеи с использованием двумерного и трёхмерного контента. К плюсам такого виртуального общения можно отнести более тесную связь с аудиторией за счет эффекта присутствия: участники намного меньше отвлекаются на дела и события реального мира, происходящие во время обучения. Находясь в очках виртуальной реальности невозможно проверять телефон, писать e-mail или делать что-то ещё постороннее, не связанное с текущей встречей. Визуализация виртуального пространства доступна всем пользователям сети Интернет и реализована с использованием очков виртуальной реальности: Oculus Quest, Oculus Go, Oculus Rift, HTC Vive, и Windows MR. На рис. 6 проиллюстрирован фрагмент посещения производственного участка машиностроительного завода участником сети с использованием VR-приложения Bigscreen, во время которого изучалась последовательность включения пульта управления роботизированным комплексом.

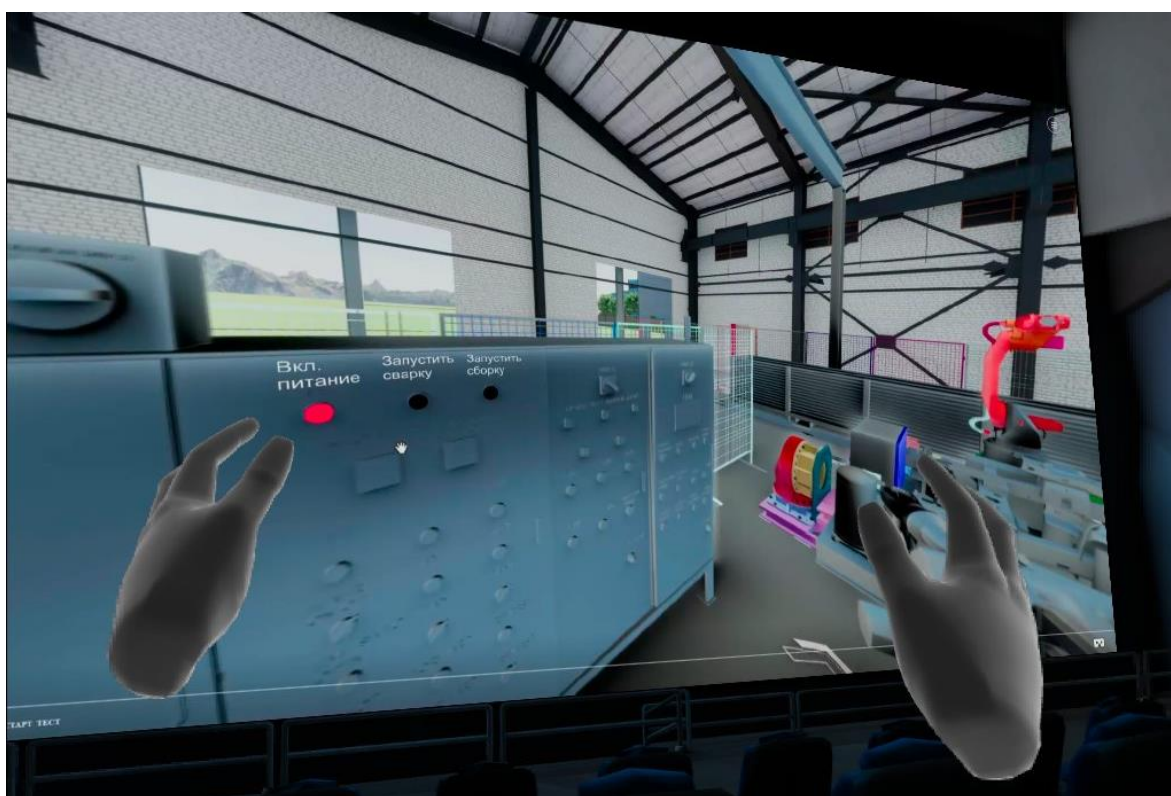


Рис. 6. Визуализация фрагмента модели оборудования внутри одного из цехов предприятия, представленной в среде VR-приложения Bigscreen

Наряду с использованием технологии VR, авторы предлагают при изучении технологических процессов получения целевой продукции, использовать и технологию AR, например, дополнив технологическую линию недостающим оборудованием. В качестве иллюстрации технологии AR читателям журнала предлагается на плоскости страницы настоящей статьи восстановить образ фрезерного станка ABENE VHF-680. Для этого необходимо смартфоном сканировать QR-код на рис. 7, далее перейти на страницу указанного сайта с использованием браузеров Chrome или Safari, разрешить доступ к видеокамере телефона и навести камеру на маркер. На экране телефона появится образ станка.



а)



б)

Рис. 7. QR-код (а) и маркер (б) для восстановления образа станка с использованием технологии дополненной реальности

3. Оценка эффективности тематического образовательного виртуального пространства

Для оценки эффективности созданного виртуального пространства промышленного производства авторами был проведен опрос различных групп пользователей (студентов, профессионалов, преподавателей). Анализ в координатах «Важность-Удовлетворенность» (Importance-Performance Analysis – IPA) широко используется с целью выявления важных характеристик с низкими показателями удовлетворенности [33].

В рамках опроса пользователям предлагалось оценить по пятибалльной шкале различные характеристики (атрибуты) информационного образовательного ресурса по двум критериям – насколько каждая характеристика важна для респондентов (важность) и насколько качественно она реализована (удовлетворенность). Анкетирование студентов проводилось с помощью бесплатного онлайн-инструмента, позволяющего создавать формы для сбора данных, онлайн-тестирования и голосования. Google Forms [34, 35]. Фрагмент формы [36] для проведения анкетирования представлен на рис. 8. Всего было проанкетировано 35 человек, которые, следует отметить, ранее не имели опыта использования виртуальной реальности.

Оценка качества виртуального пространства промышленного производства

Шкала для оценки важности:
1 - абсолютно не важно;
2 - скорее не важно, чем важно;
3 - затрудняюсь ответить;
4 - скорее важно, чем не важно;
5 - абсолютно важно.

Шкала для оценки удовлетворенности:
1 - абсолютно не удовлетворены;
2 - скорее не удовлетворены, чем удовлетворены;
3 - затрудняюсь ответить;
4 - скорее удовлетворены, чем не удовлетворены;
5 - абсолютно удовлетворены.

Чтобы сохранить изменения, [войдите в аккаунт Google](#). [Подробнее...](#)

* Обязательно

1. Масштабы виртуального пространства промышленного производства достаточны для того, чтобы удерживать внимание студента и мотивировать к изучению его до конца *

	1	2	3	4	5
Важность	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Удовлетворенность	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Рис. 8. Фрагмент формы для анкетирования оценки качества образовательного ресурса

После проведения анкетирования по каждой из характеристик вычислялся средний балл по категориям важность и удовлетворённость. Перечень характеристик, а также средние значения важности и удовлетворённости представлены в таблице 2.

Таблица 2 Перечень характеристик образовательного ресурса

Характеристика (атрибут)	Легенда у точек	Важность	Удовлетворённость
1. Масштабы виртуального пространства промышленного производства достаточны для того, чтобы удерживать внимание студента и мотивировать к изучению его до конца.	1	4.29	4.26
2 Фотореалистичность моделируемого виртуального пространства промышленного производства.	2	4.17	4.46
3. Интересное содержание тура мотивирует студента полностью изучить промышленное производство в виртуальном пространстве.	3	4.26	3.97
4. В виртуальном пространстве удобная навигация. Студент легко может найти стрелки-указатели для прохождения всех маршрутов в виртуальном пространстве промышленного производства.	4	4.11	4.00
5. Реализация элементов электронного обучения в форме квестов по виртуальному пространству промышленного производства.	5	4.16	4.17
6. Получение знаний в доступной игровой форме.	6	4.03	4.14
7. Использование в виртуальном туре мультимедийного контента и интерактивных инструментов.	7	4.14	4.11
8. Интеграция с системами управления обучением (Learning Management System-LMS).	8	3.86	3.86
9. Доступность и лёгкость восприятия информации внутри виртуального пространства промышленного производства.	9	4.09	4.13
10. Возможность групповой работы в виртуальном пространстве промышленного производства.	10	3.94	4.29
11. Подключение к туру живого гида и других участников. Проведение онлайн-экскурсии с живым гидом по виртуальному пространству промышленного производства.	11	4.17	4.37
12. Погружение (иммерсия) в виртуальное пространство промышленного производства с помощью VR-очков или VR-шлема (оборудование Oculus, Vive, Gear VR и т.д.).	12	4.26	4.26
13. Удобство навигации в очках внутри виртуальной реальности.	13	3.97	4.06
14. Мультиплатформенная реализация (Windows, Android, iOS, *nix) виртуального пространства промышленного производства.	14	4.16	4.14

Далее полученные средние значения преобразуются в график, в котором ось ординат отражает важность характеристики, а ось абсцисс – удовлетворённость реализацией характеристики (см. рис. 9). График разделяется на 4 квадранта (четверти): квадрант 1 (высокая важность, высокая удовлетворенность); квадрант 2 (высокая важность, низкая удовлетворенность); квадрант 3 (низкая важность, низкая удовлетворенность); квадрант 4 (низкая важность, высокая удовлетворенность). На рис. 10(а, б) представлены гистограммы частот оценок характеристик (3) и (11): высота столбцов указывает количество соответствующих оценок.

По графику видно, что основная масса характеристик попала в квадрант 1 (высокая важность, высокая удовлетворенность). Это значит, что эти характеристики полностью удовлетворяют запросам респондентов.

Характеристики (3) и (4) попали во второй квадрант (высокая важность, низкая удовлетворенность). Это значит, что данная характеристика требует улучшения как можно скорее.

В квадрант 3 (низкая важность, низкая удовлетворенность) попало две характеристики: (8) и (13). Вероятно, что респондентам неясно, для чего требуется интеграция в систему управления обучением.

Характеристики (6) и (10) попали в квадрант 4 (низкая важность, высокая удовлетворенность). Это значит, что работе над этими характеристиками разработчики виртуального пространства промышленного производства уделяют слишком много сил.

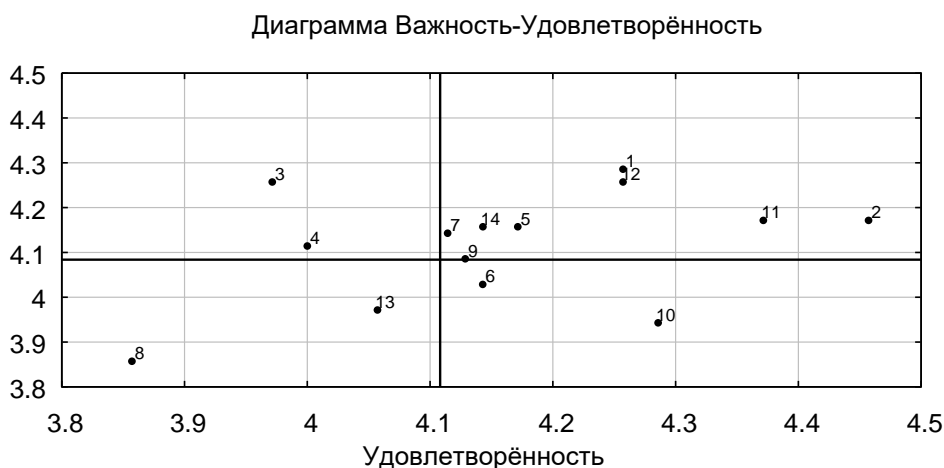
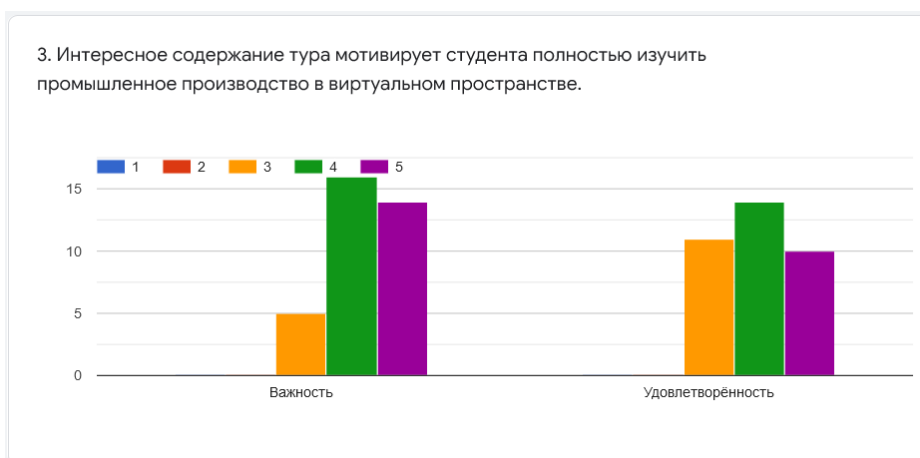
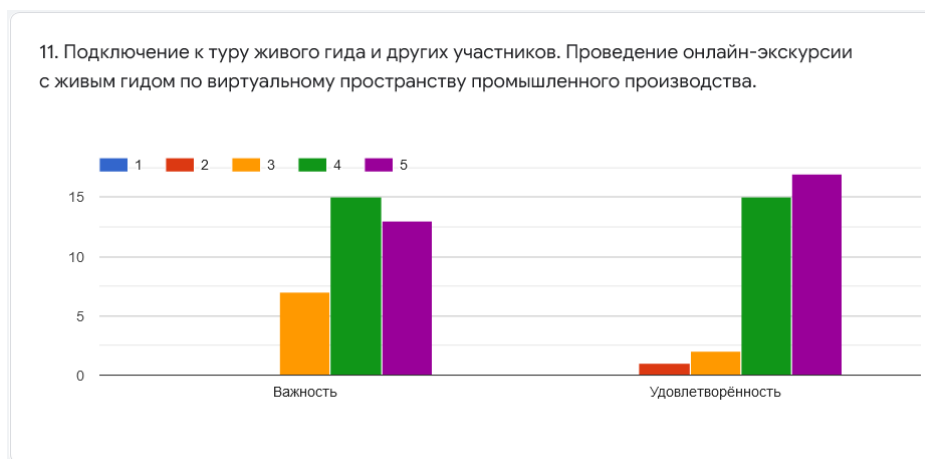


Рис. 9. Диаграмма Важность – Удовлетворенность



(а)



(б)

Рис. 10 (а, б). Гистограммы частот оценок характеристик 3 и 11

По результатам анализа в координатах «Важность-Удовлетворенность» можно сделать следующие выводы. В целом, все респонденты указывают высокую важность и высокую удовлетворённость реализацией (средние значения важности 4,08 и удовлетворённости 4,11). Учитывая тот факт, что респонденты не имели ранее опыта работы в виртуальной реальности, преобладает WOW-эффект, который формирует положительный эмоциональный настрой.

Также стоит отметить, что для неподготовленного пользователя первое погружение в виртуальную реальность само по себе является отвлекающим фактором, новые эмоции и новый опыт изучения виртуального мира отвлекают от самого предмета изучения, что показывает характеристика (3).

Отсутствие опыта использования специальных контроллеров в начале работы вызывает определенные затруднения, на что указывает характеристика (4). Однако, эти затруднения быстро проходят по мере приобретения практического опыта.

Таким образом, в образовательных целях виртуальное погружение лучше использовать для аудитории, которая ранее имела опыт использования виртуальной реальности, по крайней мере, прошла ознакомительный курс для новичков, который предоставляют производители устройств виртуальной реальности.

Наряду с оценкой качества виртуального пространства промышленного производства авторами с использованием системы LMS Moodle проведено исследование по проверке профессиональных знаний студентов по дисциплине «Проектирование и управление машиностроительным производством». Результаты тестирования двух групп студентов по 12 человек в каждой группе, проведенного с погружением в виртуальное пространство промышленного производства (1-я группа) и без него (2-я группа), показали для первой группы на 12,5 % больше долю правильных ответов на вопросы предложенных тестов. Это является еще одним подтверждением целесообразности использования иммерсивной образовательной среды для повышения эффективности обучения

4. Заключение

В результате проведенных исследований авторами создано виртуальное образовательное тематическое пространство, связанное с функционированием предприятия по производству машиностроительной продукции, с использованием современных программных продуктов, таких как Twinmotion, 3D Vista Virtual Tour Pro, Bigscreen и др.

В среде Twinmotion был создан цифровой прототип машиностроительного завода, обеспечивающий иммерсивную архитектурную 3D-визуализацию.

Созданный виртуальный тур в среде 3D Vista Virtual Tour Pro может использоваться для множества задач: удалённое обсуждение 3D-модели проектируемого оборудова-

ния; обучение персонала; отработка действий во время аварийных ситуаций; прохождение образовательных квестов по территории предприятия.

Инструмент Live Guided Tours (экскурсии с гидом), входящий в пакет 3D Vista Virtual Tour Pro, позволяет проводить видеоконференции внутри виртуального тура. Гид, которым может быть преподаватель, коллега, может указывать другим гостям на те, или иные элементы тура, совместно обсуждать то, что все видят в реальном времени.

Применение многопользовательского социального VR-приложения для виртуальной реальности Bigscreen обеспечивает участникам сети возможность встречаться и взаимодействовать через аватары внутри комнат в виртуальной реальности с использованием специальных очков и шлемов.

Таким образом, авторами предложена технология создания цифрового прототипа промышленного производства, используемого специалистами в качестве инструмента на стадиях проектирования и управления его функционированием, а преподавателями – при проведении лекций, практических и зачетных занятий со студентами, которая составляет основу подхода к цифровой трансформации промышленного производства в образовательный процесс. Она позволяет обеспечить условия для повышения качества образования, обмена мнениями, взаимного консультирования, что подтверждено результатами оценки эффективности созданного виртуального пространства промышленного производства и проверки профессиональных знаний студентов.

Литература

1. Lämkuil D., Zdrodowski M. The need for faster and more consistent digital human modeling software tools // Adv. Tran. Discip. Eng. 2020. Vol. 11. P. 299–310. DOI: 10.3233/ATDE200037
2. Choi S., Jung K., Noh S. Do. Virtual reality applications in manufacturing industries: Past research, present findings, and future directions // Concurr. Eng. 2015. Vol. 23, No. 1. P. 40–63. DOI: 10.1177/1063293X14568814
3. Vlah D., Čok V., Urbas U. VR as a 3D modelling tool in engineering design applications // Appl. Sci. 2021. Vol. 11, No. 16. P. 7570. DOI: 10.3390/app11167570
4. Greiner P. et al. Remote-audit and VR support in precision and mechanical engineering // Photonics and Education in Measurement Science 2019 / ed. Zagar B. et al. SPIE, 2019. P. 48. DOI: 10.1117/12.2533016
5. 3DVista. 3DVista – Virtual Tours, 360° video and VR software [Electronic resource]. 2022. URL: <https://www.3dvista.com/>.
6. 3DVista. Virtual Tours in E-Learning, Training & Quizzing [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://www.3dvista.com/en/blog/virtual-tours-in-e-learning-training-quizzing-v2/>.
7. Немтинов В.А., Горелов А.А., Немтинова Ю.В., Борисенко А.Б. Визуализация виртуальной пространственно-временной модели территории исторической застройки // Научная визуализация. 2016. Т. 8, №. 1. С. 120–132.
8. Nemtinov V.A., Borisenko A.B., Nemtinova Y.V., Gorelov A.A., Tryufilkin S.V. Implementation of technology for creating virtual spatial-temporal models of urban development history // Scientific Visualization. 2018. Vol. 10, No. 3. P. 99–107. DOI: 10.26583/sv.10.3.07
9. Nemtinov V.A., Borisenko A.B., Morozov V.V., Nemtinova Yu.V. Повышение уровня профессиональных компетенций с использованием виртуальной образовательной среды // Высшее образование в России. 2021. Т. 30, № 3. С. 104–113. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-3-104-113
10. Nemtinov V., Egorov S., Borisenko A., Morozov V., Nemtinova Yu. Support of design decision-making process using virtual modeling technology // Lecture Notes in Networks and

Systems book series (LNNS, volume 432). 2022. P. 70–77. DOI: 10.1007/978-3-030-97730-6_7

11. Duda J., Oleszek S. Concept of PLM Application integration with VR and AR techniques. 2020. P. 91–99. DOI: 10.1007/978-3-030-57997-5_11

12. Nemtinov V., Borisenko A., Gorelov A., Nemtinova Yu., Tryufilkin S. Development of a virtual library of cultural heritage objects for Tambov region's memorable places // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2019. Vol. 19, No. 2.1. P. 225–231. DOI: 10.5593/sgem2019/2.1/s07.030

13. Wu L. et al. The design of virtual town sased on Twinmotion // 2020 International Conference on Virtual Reality and Visualization (ICVRV). IEEE, 2020. P. 348–349. DOI: 10.1109/ICVRV51359.2020.00096

14. Epic Games. A cutting edge real-time architectural visualization tool – Twinmotion [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://www.twinmotion.com/>.

15. Gallegos C. et al. The use of a game-based learning platform to engage nursing students: A descriptive, qualitative study // Nurse Educ. Pract. 2017. Vol. 27. P. 101–106.

16. Lam J.T. et al. Use of virtual games for interactive learning in a pharmacy curriculum // Curr. Pharm. Teach. Learn. 2019. Vol. 11, No. 1. P. 51–57. DOI: 10.1016/j.cptl.2018.09.012

17. Царапкина Ю.М., Якубова Э.Ю. Использование технологии «веб-квест» в профессиональном самоопределении // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: информатизация образования. 2018. Т. 15, № 4. С. 373–381. DOI: 10.22363/2312-8631-2018-15-4-373-381

18. Zakirova F.M., Qarshieva D.U. Quest for pedagogical technology and its use in education systems // Int. J. Integr. Educ. 2020. Vol. 3, No.V. P. 12–16. DOI: 10.31149/ijie.v3i5.369

19. Egorov S.Y., Sharonin K.A. Automated decision making in the problem solving of objects layout for chemical and refining industries using expert software systems // Chem. Pet. Eng. 2017. Vol. 53, No. 5–6. P. 396–401. DOI: 10.1007/s10556-017-0353-3

20. Nemtinov V., Bolshakov N., Nemtinova Y. Automation of the early stages of plating lines design // MATEC Web Conf. / ed. Bratan S. et al. 2017. Vol. 129. P. 01012. DOI: 10.1051/mateconf/201712901012

21. Smorkalov A., Morozov M., Fominykh M. Collaborative work with large amount of graphical content in a 3D virtual world: evaluation of learning tools in vAcademia // 2013 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL). IEEE, 2013. P. 303–312. DOI: 10.1109/ICL.2013.6644587

22. Шейнбаум В.С. Междисциплинарное деятельностное обучение в виртуальной среде профессиональной деятельности – состояние, перспективы // Высшее образование России. 2017. Т. 217, № 11. С. 61–68.

23. Филатова М.Н., Шейнбаум В.С., Щедровицкий П.Г. Онтология компетенции «умение работать в команде» и подходы к её развитию в инженерном вузе // Высшее образование в России. 2018. Т. 27, № 6. С. 71–82.

24. Михайлюк М.В., Торгашев М.А. Моделирование и визуализация трехмерных виртуальных пультов управления в тренажерах // Научная визуализация. 2014. Т. 6, № 4. С. 50–60.

25. Тихомиров Г., Сальдилов И., Маликова Е., Кученкова Л., Пилюгин В. Опыт НИЯУ МИФИ в разработке и использовании программных средств визуализации в учебном процессе в области ядерных энергетических установок // Научная визуализация. 2012. Т. 4, № 2. С. 57–63.

26. Krol O., Sokolov V. 3D modelling of angular spindle's head for machining centre // J. Phys. Conf. Ser. 2019. Vol. 1278, No. 1. P. 012002. DOI: 10.1088/1742-6596/1278/1/012002

27. Pozdneev B. et al. Digital transformation of learning processes and the development of competencies in the virtual machine-building enterprise environment // J. Phys. Conf. Ser. 2019. Vol. 1278, No. 1. P. 012008. DOI: 10.1088/1742-6596/1278/1/012008

28. Unal A., Karakuş M.A. Interacting science through Web Quests // *Univers. J. Educ. Res.* 2016. Vol. 4, No. 7. P. 1595–1600.
29. Nemtinov V., Zazulya A., Kapustin V., Nemtinova Yu. Analysis of decision-making options in complex technical system design // *J. Phys. Conf. Ser.* 2019. Vol. 1278, No. 1. P. 012018. DOI: 10.1088/1742-6596/1278/1/012018
30. Болбаков Р.Г., Цветков В.Я. Оценка качества образовательных порталов // *Открытое образование.* 2017. Т.21. № 3. С. 22–28. DOI: 10.21686/1818-4243-2017-3-22-28
31. Yarramreddy A., Gromkowski P., Baggili I. Forensic analysis of immersive virtual reality social applications: A Primary Account // 2018 IEEE Security and Privacy Workshops (SPW). IEEE, 2018. P. 186–196. DOI: 10.1109/SPW.2018.00034
32. Bigscreen. Your ultimate virtual reality hangout [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://www.bigscreenvr.com/>.
33. Hidayah N.A., Subiyakto A., Setyaningsih F. Combining webqual and importance performance analysis for assessing a government website // 2019 7th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM). IEEE, 2019. P. 1–6. DOI: 10.1109/CITSM47753.2019.8965408
34. Google. Google Формы: бесплатно создавайте собственные онлайн-опросы [Electronic resource]. 2021. URL: <https://www.google.ru/intl/ru/forms/about/>.
35. Djenno M., Insua G.M., Pho A. From paper to pixels: using Google Forms for collaboration and assessment // *Libr. Hi Tech News.* 2015. Vol. 32, № 4. P. 9–13. DOI: 10.1108/LHTN-12-2014-0105
36. Оценка качества информационного образовательного ресурса [Electronic resource]. 2022. URL: <https://forms.gle/buDHWnZnG8WZMRKaA>.

Visualization of Digital Transformation of Industrial Production into the Educational Process

V.A. Nemtinov^{1,A}, A.B. Borisenko^{2,A}, V.V. Morozov^{3,A}, Yu.V. Nemtinova^{4,A,B},
K.V. Nemtinov^{5,A}

^A Tambov State Technical University, Tambov, Russia

^B Tambov State University named after G. R. Derzhavin, Tambov, Russia

¹ ORCID: 0000-0003-2917-3610, nemtinov.va@yandex.ru

² ORCID: 0000-0001-9315-6167, borisenko.ab@mail.tstu.ru

³ ORCID: 0000-0001-8839-3387, slavok86@mail.ru

⁴ ORCID: 0000-0001-9047-2535, julia.nemtinova@yandex.ru

⁵ ORCID: 0000-0001-7830-300X, kir155@mail.ru

Abstract

This paper considers the technology of creating an industrial production digital prototype, which can be used as a tool at the design and management stages of its functioning, as well as its application in the educational process while training highly qualified technical specialists - during lectures, practical and assessment classes with students. The virtual production space creation was carried out using the software environments Twinmotion, Bigscreen and 3D Vista Virtual Tour Pro. A digital prototype of a machine-building plant was created in the Twinmotion software environment, providing immersive architectural 3D visualization. The created virtual tour in the 3DVista Virtual Tour Pro environment is used for a variety of tasks: online discussion of the designed equipment 3D model; staff training; emergency situations drills; completing onsite educational quests. The Live Guided Tours tool included in 3DVista Virtual Tour Pro allows to conduct real time video conferences inside a virtual tour. The use of a multi-user social VR application for virtual reality Bigscreen provides network participants with the opportunity to meet and interact through avatars inside virtual reality rooms. Thus, the authors proposed an approach to the digital transformation of industrial production into the educational process. It allows us to provide conditions for improving the education quality, exchanging opinions, and mutual counseling. Visualization of a digital prototype of industrial production is available to all Internet users.

Keywords: digital transformation, virtual reality, technology for creating a digital prototype of industrial production, virtual tour, Twinmotion, e-learning, LMS Moodle, 3D Vista Virtual Tour Pro, Bigscreen.

References

1. Lämkuil D., Zdrodowski M. The need for faster and more consistent digital human modeling software tools // Adv. Tran. Discip. Eng. 2020. Vol. 11. P. 299–310. DOI: [10.3233/ATDE200037](https://doi.org/10.3233/ATDE200037)
2. Choi S., Jung K., Noh S. Do. Virtual reality applications in manufacturing industries: Past research, present findings, and future directions // Concurr. Eng. 2015. Vol. 23, No. 1. P. 40–63. DOI: [10.1177/1063293X14568814](https://doi.org/10.1177/1063293X14568814)
3. Vlah D., Čok V., Urbas U. VR as a 3D modelling tool in engineering design applications // Appl. Sci. 2021. Vol. 11, No. 16. P. 7570. DOI: [10.3390/app11167570](https://doi.org/10.3390/app11167570)
4. Greiner P. et al. Remote-audit and VR support in precision and mechanical engineering // Photonics and Education in Measurement Science 2019 / ed. Zagar B. et al. SPIE, 2019. P. 48. DOI: [10.1117/12.2533016](https://doi.org/10.1117/12.2533016)

5. 3DVista. 3DVista – Virtual Tours, 360° video and VR software [Electronic resource]. 2022. URL: <https://www.3dvista.com/>.
6. 3DVista. Virtual Tours in E-Learning, Training & Quizzing [Electronic resource]. 2020. URL: <https://www.3dvista.com/en/blog/virtual-tours-in-e-learning-training-quizzing-v2/>.
7. Nemtinov V.A., Gorelov A.A., Nemtinova, Yu.V., Borisenko A.B. Visualization of a virtual space and time model of an urban development territory // *Scientific Visualization*. 2016. Vol. 8, No. 1. P. 120–132. (In Russ.; abstract in Eng.)
8. Nemtinov V.A., Borisenko A.B., Nemtinova Y.V., Gorelov A.A., Tryufilkin S.V. Implementation of technology for creating virtual spatial-temporal models of urban development history // *Scientific Visualization* 2018. Vol. 10, No. 3. P. 99–107. DOI: 10.26583/sv.10.3.07
9. Nemtinov V.A., Borisenko A.B., Morozov V.V., Nemtinova Yu.V. Increasing the level of professional competence using a virtual educational environment // *Vysshee Obrazovanie v Rossii = Higher Education in Russia*. 2021. Vol. 30, No. 3. P. 104–113. DOI: 10.31992/0869-3617-2021-30-3-104-113 (In Russ.; abstract in Eng.)
10. Nemtinov V., Egorov S., Borisenko A., Morozov V., Nemtinova Yu. Support of design decision-making process using virtual modeling technology // *Lecture Notes in Networks and Systems book series (LNNS, volume 432)*. 2022. P. 70–77. DOI: 10.1007/978-3-030-97730-6_7
11. Duda J., Oleszek S. Concept of PLM application integration with VR and AR techniques. 2020. P. 91–99. DOI: 10.1007/978-3-030-57997-5_11
12. Nemtinov V., Borisenko A., Gorelov A., Nemtinova Yu., Tryufilkin S. Development of a virtual library of cultural heritage objects for tambov region’s memorable places // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2019. Vol. 19, No. 2.1. P. 225–231. DOI: 10.5593/sgem2019/2.1/s07.030
13. Wu L. et al. The design of virtual town based on twinmotion // 2020 International Conference on Virtual Reality and Visualization (ICVRV). IEEE, 2020. P. 348–349. DOI: 10.1109/ICVRV51359.2020.00096
14. Epic Games. A Cutting Edge Real-Time Architectural Visualization Tool - Twinmotion [Electronic resource]. 2022. URL: <https://www.twinmotion.com/>.
15. Gallegos C. et al. The use of a game-based learning platform to engage nursing students: A descriptive, qualitative study // *Nurse Educ. Pract.* 2017. Vol. 27. P. 101–106.
16. Lam J.T. et al. Use of virtual games for interactive learning in a pharmacy curriculum // *Curr. Pharm. Teach. Learn.* 2019. Vol. 11, No. 1. P. 51–57. DOI: 10.1016/j.cptl.2018.09.012
17. Tsarapkina Y.M., Yakubova E.Y. Web-Quest technology usage in professional self-determination // *Rudn J. Informatiz. Educ.* 2018. Vol. 15, No. 4. P. 373–381. DOI: 10.22363/2312-8631-2018-15-4-373-381 (In Russ.; abstract in Eng.)
18. Zakirova F.M., Qarshieva D.U. Quest for pedagogical technology and its use in education systems // *Int. J. Integr. Educ.* 2020. Vol. 3, No. V. P. 12–16. DOI: 10.31149/ijie.v3i5.369
19. Egorov S.Y., Sharonin K.A. Automated decision making in the problem solving of objects layout for chemical and refining industries using expert software systems // *Chem. Pet. Eng.* 2017. Vol. 53, No. 5–6. P. 396–401. DOI: 10.1007/s10556-017-0353-3
20. Nemtinov V., Bolshakov N., Nemtinova Yu. Automation of the early stages of plating lines design // *MATEC Web Conf.* / ed. Bratan S. et al. 2017. Vol. 129. P. 01012. DOI: 10.1051/mateconf/201712901012
21. Smorkalov A., Morozov M., Fominykh M. Collaborative work with large amount of graphical content in a 3D virtual world: Evaluation of learning tools in vAcademia // 2013 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL). IEEE, 2013. P. 303–312. DOI: 10.1109/ICL.2013.6644587

22. Sheinbaum V.S. Interdisciplinary Activity training in virtual engineering environment: An actual state and prospects // Vyss. Obraz. v Ross. = High. Educ. Russ. 2017. Vol. 217, No. 11. P. 61–68. (In Russ.; abstract in Eng.)
23. Filatova M.N., Sheinbaum V.S., Shchedrovitsky P.G. Ontology of teamwork competency and approaches to its development at engineering university // Vyss. Obraz. v Ross. = High. Educ. Russ. 2018. Vol. 27, No. 6. P. 71–82. (In Russ.; abstract in Eng.)
24. Mikhaylyuk M.V., Torgashev M.A. Modeling and visualization of 3D virtual consoles in simulators // Sci. Vis. 2014. Vol. 6, No. 4. P. 50–60. (In Russ.; abstract in Eng.)
25. Tikhomirov G. et al. NRNU MEPhI Experience in development and application of visualization software in nuclear power plants education // Sci. Vis. 2012. Vol. 4, No. 2. P. 57–63. (In Russ.; abstract in Eng.)
26. Krol O., Sokolov V. 3D modelling of angular spindle's head for machining centre // J. Phys. Conf. Ser. 2019. Vol. 1278, No. 1. P. 012002. DOI: 10.1088/1742-6596/1278/1/012002
27. Pozdneev B. et al. Digital transformation of learning processes and the development of competencies in the virtual machine-building enterprise environment // J. Phys. Conf. Ser. 2019. Vol. 1278, No. 1. P. 012008. DOI: 10.1088/1742-6596/1278/1/012008
28. Unal A., Karakuş M.A. Interacting science through Web Quests // Univers. J. Educ. Res. 2016. Vol. 4, No. 7. P. 1595–1600.
29. Nemtinov V., Zazulya A., Kapustin V., Nemtinova Yu. Analysis of decision-making options in complex technical system design // J. Phys. Conf. Ser. 2019. Vol. 1278, No. 1. P. 012018. DOI: 10.1088/1742-6596/1278/1/012018
30. Bolbakov R.G., Tsvetkov V.Y. Assessment of the quality of educational portals // Open Educ. 2017. No. 3. P. 22–28. DOI: 10.21686/1818-4243-2017-3-22-28 (In Russ.; abstract in Eng.)
31. Yarramreddy A., Gromkowski P., Baggili I. Forensic analysis of immersive virtual reality social applications: A primary account // 2018 IEEE Security and Privacy Workshops (SPW). IEEE, 2018. P. 186–196. DOI: 10.1109/SPW.2018.00034
32. Bigscreen. Your ultimate virtual reality hangout [Electronic resource]. 2022. URL: <https://www.bigscreenvr.com/>.
33. Hidayah N.A., Subiyakto A., Setyaningsih F. Combining webqual and importance performance analysis for assessing a government website // 2019 7th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM). IEEE, 2019. P. 1–6. DOI: 10.1109/CITSM47753.2019.8965408
34. Google. Google forms: Create your own online surveys for free [Electronic resource]. 2021. URL: <https://www.google.ru/intl/ru/forms/about/>.
35. Djenno M., Insua G.M., Pho A. From paper to pixels: using google forms for collaboration and assessment // Libr. Hi Tech News. 2015. Vol. 32, No. 4. P. 9–13. DOI: 10.1108/LHTN-12-2014-0105
36. Assessment of the quality of an informational educational resource [Electronic resource]. 2022. URL: <https://forms.gle/buDHWnZnG8WZMRKaA>.