

# Проблема разработки VR тренажеров сборки/разборки, и вариант высокопроизводительного решения на базе технологии VR Concept

М.Г. Жабицкий, С.А. Кулак, А.С. Новикова

**Аннотация**— Технология виртуальной реальности сегодня может быть успешно использована не только в индустрии развлечений, где уже прочно закрепилась, но и для обучения персонала в различных отраслях деятельности человека. Развитие инновационных технологий позволит России занять лидирующие позиции в технологии и производстве. Повсеместное внедрение виртуальных тренажеров в обучение персонала может сделать обучение более эффективным, а производство - экономнее, производительнее и точнее. В статье рассмотрена технология разработки виртуальных тренажеров сборки и разборки промышленного оборудования, проведены обзоры методов обучения персонала с точки зрения максимальной эффективности и виртуальных сред и способов создания VR тренажеров, их преимущества и ограничения. В статье предложена технология создания тренажеров с использованием платформы VR Concept, которая позволяет ускорить процесс разработки за счет наличия заранее реализованных общих модулей. Данная технология является шагом к разработке конвейерного производства тренажеров виртуальной реальности, что позволит уменьшить время, стоимость и трудность внедрения технологии виртуальной реальности на производстве.

**Ключевые слова**— виртуальная реальность, тренажеры сборки/разборки промышленного оборудования, VR Concept, обучение персонала.

## I. ВВЕДЕНИЕ

Технологии виртуальной реальности (VR) с каждым днем все больше входят в нашу жизнь и уже встречаются в таких сферах, как развлечение, строительство, проектирование, обучение, медицина, промышленность. Виртуальная реальность обеспечивает полное погружение человека в искусственную цифровую среду через его ощущения: зрение, слух, осязание [1]. В цифровом мире человек взаимодействует с окружающими его объектами.

Внедрение VR технологий в промышленности обеспечит технологическое лидерство России. Одной из ключевых задач, в которых может быть эффективно использована виртуальная реальность, является обучение персонала работе со сложным оборудованием. Одним из направлений обучения является обучение операциям сборки/разборки. Новые технологии в обучении рабочего персонала будут способствовать сокращению затрат на обслуживание оборудования, сокращению числа ошибок и простоев, увеличению эффективности работы с инженерными 3D-моделями.

VR позволяет повысить мотивацию и заинтересованность по сравнению со стандартными подходами обучения (изучение бумажных материалов, видеолекций) при сохранении качества обучения [2,3]. Системы обучения в виртуальной реальности позволяют собирать информацию об ошибках в процессе выполнения работы и визуализировать полученные данные в виде графиков и диаграмм [4]. Описаны примеры использования виртуальной реальности для визуализации правил охраны труда и промышленной безопасности, ремонта оборудования [5]. Виртуальные тренировки работников по сборке/разборке, ремонту и обслуживанию сложного оборудования, отработка навыков в сфере охраны труда и промышленной безопасности могут на 30% сократить производственные затраты и уменьшить количество ошибок работников и

<sup>1</sup>Статья получена 11 июля 2022.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям (<https://fasie.ru/>). ООО "ПРОТОТИП" Протокол заседания дирекции Фонда содействия инновациям №5 от 28 сентября 2021 г.

заявка С1-105369 Старт-21-1 (2 очередь) Соглашении, на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по теме: «Разработка и испытания прототипов виртуального тренажера для сборочных производств в среде VR-concept на базе конверсии CAD-моделей промышленного оборудования» (Проект № 70473, заявка С1-105369 в рамках реализации инновационного проекта «Разработка технологии высокоэффективного производства тренажеров для сборочных производств и ТОиР промышленного оборудования в среде виртуальной реальности VR-concept на базе прямой конверсии CAD и BIM-моделей»).

Работа представляет собой результат выпускных квалификационных работ студентов ВИШ НИЯУ МИФИ Кулак С.А., Новиковой А.С.

Жабицкий Михаил Георгиевич, заместитель директора Высшей Инжиниринговой Школы НИЯУ МИФИ (email: jabitsky@mail.ru)

Кулак Станислава Александровна, выпускница магистратуры ВИШ МИФИ (email: stasikyulak@mail.ru)

Новикова Анастасия Сергеевна, выпускница магистратуры ВИШ МИФИ (email: anastasiyanovikova44@mail.ru)

простое оборудование, позволяют более подробно изучить работу оборудования, улучшить навыки работы персонала и тем самым повысить качество ремонта.

Помимо процесса обучения сборочным операциям виртуальные тренажеры сборки/разборки востребованы и на этапе проектирования сборочных процессов [6]. Виртуальные тренажеры позволяют на более раннем этапе разработки проекта найти неэргономичные решения, построить рациональную последовательность сборки, оптимальное размещение и перемещение деталей по цеху, учесть необходимое технологическое оснащение, спланировать распределение нагрузки по рабочим местам.

В тренажерах в виртуальной реальности для обучения можно выделить два вида коммуникации: человек-машина и человек-человек. Взаимодействие человека с машиной проявляется в следовании заранее написанному и запрограммированному сценарию, действия человека в виртуальной реальности обрабатываются и анализируются программным обеспечением. В свою очередь человек получает обратную связь от программы, в которой реализован сценарий обучения, в виде допуска к следующим этапам, появлению новых элементов. Коммуникация человек-человек проявляется в возможности подключения нескольких пользователей к одному проекту. Они могут как быть активными участниками виртуального мира, взаимодействовать с объектами в нем, так и быть сторонними наблюдателями, которые только видят и анализируют действия пользователя при обучении, могут скорректировать процесс обучения, дать подсказки.

Для реализации сценария обучения виртуальные тренажеры включают в себя наличие разного рода подсказок: текстовых, звуковых, графических. С помощью подсказок возможно предоставить необходимую справочную информацию для продолжения сборки/разборки оборудования. Существуют различные варианты запроса подсказок: вызов с помощью меню, представленного в сцене, использование заранее определенных объектов сцены, распознавание голоса.

Кроме работы в режиме обучения, при котором пользователю доступна любая справочная информация и время выполнения заданий не ограничено, VR тренажеры предоставляют экзаменационный режим работы, в котором нет доступа к справочным материалам, ограничено время выполнения операций, происходит логирование всех действий пользователя для дальнейшей оценки правильности выполнения работы, подсчета ошибок. В виртуальной реальности возможно организовать гибкий процесс обучения. В одних сценариях использования тренажера возможно бесконечное повторение одних и тех же действий неограниченно по времени выполнения. Такой сценарий обучения востребован при первичном знакомстве с системой. Кардинально отличающийся сценарий необходим для оценки качества полученных навыков в

процессе обучения. При таком сценарии возможно ограничивать число попыток и затрачиваемое время.

## I. ТРАДИЦИОННЫЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА НА ПРЕДПРИЯТИИ.

Обучение персонала на предприятии, то есть обучение взрослых людей<sup>2</sup>, существенно отличается от обучения детей, так как взрослые зачастую перегружены информацией. Обучение должно быть максимально ёмким, и включать методы, которые воздействуют на разные каналы восприятия, и дают объемность понимания и полноту получаемого знания. Иллюстративные, пояснительные, практические, творческие и проблемно-постановочные методы в обучении всегда были эффективными. Сегодня заметна тенденция уменьшения теории и увеличения практики, появления яркого визуального контента и когнитивных заданий. Специалисты отдела кадров стараются сделать методы обучения для взрослых более инновационными, все чаще переводят методические материалы и учебники в электронный формат, в офисах внедряются новые технологии для работы и обучения. Процесс обучения становится более оптимизированным и движется в сторону цифровизации<sup>3</sup>.

В обзоре основных технологий и принципов обучения «Современные виды и методы обучения персонала» приводится следующая классификация современных подходов к обучению [7]:

- на рабочем месте:
  - лекции
  - семинары
  - тренинги
  - наставничество (менторинг), бизнес-коучинг
  - временные ротации (обмен рабочей деятельностью между сотрудниками)
- вне рабочего места:
  - дистанционное обучение
  - деловые игры (решение бизнес-кейсов)
  - баскет-метод (имитации ситуаций)
  - ворк-шопы
- смешанное обучение.

Все профессии условно можно поделить на две большие категории – профессии умственного труда (интеллектуальная деятельность) и физического (работа моторики и физической силы). Работникам интеллектуальных профессий не требуется «полевая практика», так как результаты их работы – это передача знаний, обзор и формирование документации, то есть их

<sup>2</sup> Изучением обучения взрослых занимается наука андрагогика. Андрагогика - (гр. ἀνὴρ ἀγέρ - взрослый человек, мужчина; ἄγειν ἀγεῖν - вести) - раздел теории обучения, раскрывающий специфические закономерности освоения знаний и умений взрослым субъектом учебной деятельности, а также особенности руководства этой деятельностью со стороны профессионального педагога.

<sup>3</sup> Цифровизация (также диджитализация) – это процесс трансформации бизнеса при помощи внедрения современных технологий и инструментов, которые помогают продвигать компанию, улучшать позиции на рынке, взаимодействовать с клиентами и автоматизировать многие процессы.

деятельность связана с обработкой имеющейся информации и получением новой; с минимальным или отсутствующим риском для жизни. Сегодня такие сотрудники успешно развивают свои компетенции и повышают квалификацию при помощи отлично зарекомендовавших себя для этих задач лекций, семинаров, личного менторинга. Оттачивание полученных навыков возможно в ходе деловой игры, например, при решении бизнес-кейсов.

Другое дело обстоит с категорией работников физического труда. Их деятельность непосредственно связана с постоянной практической работой, так как отработка движений и действий работника до автоматизма иногда спасает чью-то жизнь. Вероятность возникновения аварийных ситуаций на производствах и предприятиях, где превалирует физический труд, чрезвычайно высок. Например, по оценке экспертов из Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, в 2011 году крупные аварии и сопровождающие их пожары и взрывы на производствах произошли из-за некачественного монтажа и ремонта оборудования на 22%, нарушения правил технологического регламента на 11%, недостаточно качественных сварочных соединений и фланцевых соединений на 11% [8], то есть из-за недобросовестной работы сотрудников или отсутствия у них достаточных компетенций. В общей сложности за этот год пострадало 43,6 тысяч человек, погибло - 1,82 тысячи человек. В 2019 году показатели ниже, но все равно цифры огромные - 23,3 и 1,06 тысячи человек соответственно [9]. Поэтому крупные корпорации и компании находятся в поиске передовых, а главное, безопасных решений в области обучения персонала.

В 2020-21 годах Московской школой управления «Сколково» совместно с Агентством стратегических инициатив было проведено масштабное исследование, предметом которого стало выявление востребованных профессий в девятнадцати экономических отраслях на ближайшее будущее, рассмотренных сквозь призму стремительного развивающегося мира, изменений климата и экологии и других важных социальных аспектов [10]. Энергетика, в особенности, атомная и альтернативная, транспорт (наземный, водный, авиа, космос), нанотехнологии, добыча и переработка полезных ископаемых, строительство, машиностроение (в т.ч. робототехника) – все эти отрасли будут востребованы в обозримом будущем, и для подготовки первоклассных современных специалистов нужны соответствующие методы и подходы. [11]

Для обучения таких специалистов уже готово решение – тренажеры и симуляторы. Сегодня они являются важнейшим элементом профессиональной подготовки в таких областях деятельности, где ошибки при обучении на реальных объектах могут привести к чрезвычайным последствиям, а их устранение – к большим финансовым затратам. Эти устройства позволяют искусственно смоделировать, воссоздать ту жизненную

и профессиональную реальность, в которой в дальнейшем предстоит действовать работнику. Симуляторы обеспечивают формирование профессиональных навыков в искусственно моделируемой среде. Заменяя собой реальный технологический процесс, производственную или жизненную ситуацию, они могут в существенной мере формировать и дополнять опыт обучающегося в его взаимодействии с внешним миром. [12]

Таким образом, к списку методов обучения, приведенному в начале раздела, с начала 2000-х годов добавились симуляционные тренажеры (компьютерные программы с трехмерным изображением, опытные образцы и т.п.), а во втором десятилетии 21 века – тренажеры виртуальной и дополненной реальности, которые сейчас стремительно развиваются. Пожалуй, это самая перспективная область в обучении персонала на сегодняшний день.

Сегодня в среде HR-специалистов распространено выражение «игровое обучение» (или «эдутейнмент» – edutainment). Это концепт обучения, производный от «education» и «entertainment», который подразумевает распространение учебного контента с помощью развлекательного подхода. Видеоконтент, виртуальный помощник, игровые методики, нестандартные выступления и лекции – всё это может быть адаптировано как элементы игрового обучения. Основная цель – обучить аудиторию учащихся сотрудников, одновременно развлекая их. Сюда можно отнести TED-лекции<sup>4</sup>, геймификацию рабочего процесса и, конечно же, симулятивные и виртуальные тренажеры. Основная идея игрового обучения заключается в том, что, когда обучающий контент является развлекательным, он с большей вероятностью запомнится. [13]

Грамотный, высококвалифицированный и быстро обучаемый (и переобучаемый) персонал – залог успеха и конкурентоспособности предприятия. К такому выводу пришли различные исследователи, интересующиеся темой. [14,15] Проблемой является то, что знания, полученные работниками в высших учебных заведениях, стремительно устаревают, нарастает необходимость их существенного обновления. Существует даже понятие «период полураспада компетентности»<sup>5</sup>. Это промежуток времени, за который половина приобретенных знаний устареет. В настоящее время скорость устаревания знаний примерно в 4 раза превышает скорость их обновления. Для поддержания знаний на уровне требований

<sup>4</sup> Ежегодные конференции, проводимые одноименным американским частным некоммерческим фондом, миссия которых состоит в распространении уникальных идей в науке, искусстве, технологиях, глобальных проблемах, бизнесе и т.д. (англ. TED - technology, entertainment, design - технологии, развлечения, дизайн)

<sup>5</sup> Термин «период полураспада компетентности» означает продолжительность времени после окончания образовательного учреждения, когда в результате устаревания полученных знаний по мере появления новой информации компетентность специалиста снижается на 50%.

современности специалист должен не менее 4–6 часов в неделю уделять изучению новой информации в своей профессиональной области. [16]

Поэтому все большее распространение в западных и российских компаниях получает идея создания системы непрерывного образования сотрудников (концепция «обучающейся организации»). [17]

Согласно статистике по трендам корпоративного обучения, приведенной на выставке «Learning Technology» в Лондоне в феврале 2020 года, к 2025 году поколение Y, характеризующееся глубокой вовлеченностью в цифровые технологии, составит 75% от всего мирового персонала. А раз меняется персонал, должны измениться и подходы к его обучению, к тому же пандемия не позволила бизнесу оставаться статичным. Согласно исследованию британских специалистов, проведенному в этом же году, сотрудники компаний сегодня заинтересованы в увеличении цифрового обучения и улучшения обучения мобильного [18]. VR тренажеры способны достичь этих требований в полной мере.

Виртуальные миры сегодня не только удел геймеров и профессиональных киберспортсменов, как это было еще десятилетие назад, а наша привычная реальность. Об этом говорят все те персональные гаджеты и многочисленные приложения для них, которыми пользуется почти каждый современный человек. Не за горами создание метавселенной<sup>6</sup> - виртуальной реальности, у которой нет буквально никаких ограничений. У Цукерберга М. - главы корпорации Meta Platforms Inc. (которой принадлежит множество популярных продуктов - Facebook, Instagram, WhatsApp) глобальные планы на этот счет, по его оценке, на создание метавселенной уйдет примерно 5 лет, а работы начались уже осенью 2021 года [19, 20]. Первые шаги уже предприняты - любой человек сегодня может оказаться в виртуальной реальности со своим аватаром, благодаря социальной среде Horizon, созданной компанией для совместной работы, исследований, занятий спортом и т.д. Все это приближает нас к расширению наших возможностей в виртуальном мире. Виртуальная и дополненная реальности – понятия относительно новые. Повсеместно о них стали говорить не более чем десять лет назад. Как и все передовые IT-технологии, первоначально они разрабатывались для нужд военных и космических, и плавно перешли в нашу обыденную жизнь. Конечно, технологии виртуальной и дополненной реальности сразу стали использовать в профессиональной деятельности человека – сейчас, например, огромными темпами развиваются виртуальные симуляторы почти для всех сфер медицины, от акушерства до стоматологии, для транспортной сферы, от изучения устройства самолета до обучения лета на нем, для энергетической сферы,

промышленной, спорта, индустрии развлечений и т.д. Тренажеры дополненной и виртуальной реальности имеют массу достоинств:

- потенциал тренажеров, в отличие от стационарного оборудования, позволяет создавать для обучаемых любую обстановку, максимально приближенную к реальным условиям;
- возможность расчленения сложного алгоритма действия на простые этапы для их последовательного освоения с постепенным усложнением условий работы;
- возможность посмотреть любую конструкцию изнутри; возможность показать все процессы от механики до взаимодействия веществ буквально на молекулярном уровне;
- возможность немедленной объективной оценки качества выполнения работы, фиксации допущенных ошибок, одновременной демонстрации правильных действий и повторения упражнения до безошибочного его выполнения;
- обучение в полугривной форме естественным образом привлекает внимание обучающегося;
- возможность отработки внештатных и аварийных ситуаций; полная безопасность обучения, предоставление обучаемому возможности самостоятельно принимать решения и действовать в критических и аварийных ситуациях;
- глубокое погружение обучаемого в процесс достигается в недорогих шлемах виртуальной реальности;
- оптимизация рабочих процессов;
- интерактивное взаимодействие с предметом обучения с помощью положения головы и контроллера, расположенного в руке. [21]

В России виртуальные тренажеры уже используются в медицине, строительстве и транспортной сфере; с целью улучшения их эффективности и качества, регулярно проводятся исследования на предмет усваиваемости материала при изучении его в виртуальной реальности, вовлеченности персонала и т.д.

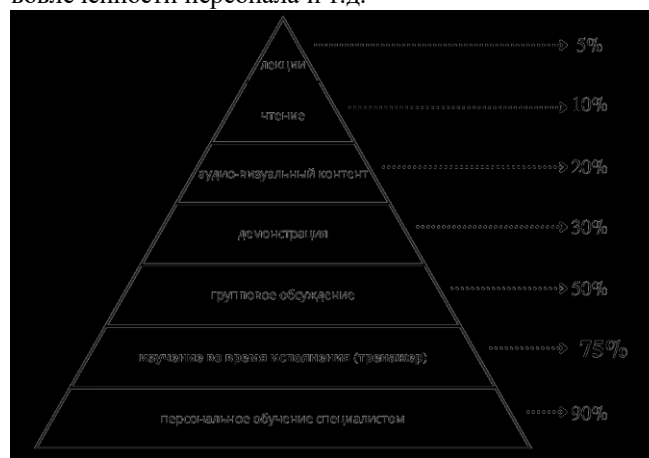


Рисунок 1 - Эффективность основных методов обучения

По результатам одного из исследований российской компании Modum lab, занимающейся производством виртуальных тренажеров, была составлена инфографика (рис. 1), демонстрирующая, что усвояемость и

<sup>6</sup> Метавселенная - постоянно действующее виртуальное пространство, в котором люди могут взаимодействовать друг с другом и с цифровыми объектами через свои аватары, с помощью технологий виртуальной реальности.

запоминаемость информации лучше, чем во время обучения в формате виртуальной реальности, только лишь у персонального обучения специалистом. Но не в виде менторства, а скорее репетиторства, подразумевающего полный контроль и направление действий обучаемого. Что невозможно организовать в крупной компании, с большим количеством сотрудников в штате. С помощью тренажеров виртуальной реальности процесс обучения почти полностью автоматизируется, эффективность обучения при этом остается на высоком уровне.

Прочие исследования этой компании показали, что:

1. Применение виртуальной реальности развивает эмоциональный интеллект, так как симуляции в виртуальной реальности позволяют вызвать больший эмпатический отклик, чем просмотр симуляций на экранах монитора. [22]

2. Использование имитационных технологий виртуальной реальности снижает уровень тревоги и снижает негативную самооценку во время публичных выступлений. [23] Исследование подтвердило снижение тревожности пользователей VR-тренажера публичных выступлений на 25,2% по сравнению со снижением на 12,6% при обычной тренировке перед зеркалом.

3. VR-тренажеры показывают более высокую проверяющую способность по сравнению с классическим бумажным тестом и опросами. [24]

4. VR эффективен в корпоративном обучении. [25] Сравнивалось обучение по методичке и обучение в тренажере. В результате исследования выяснилось, что VR эффективнее для получения знаний, чем текстовые материалы — группы, использовавшие VR, показали результаты выше 22%. 84% информантов, участвовавших в тестовом VR-обучении, предпочли бы и дальше использовать технологию и не прибегать к очному формату.

Идеальным вариантом обучения, показавшим максимальную эффективность, оказалась комбинация двух форматов: VR и методический материал, причем в такой последовательности, когда сотрудник проходит обучение сначала в VR (рис. 2). Скорее всего это связано с погружением в ситуацию на первом этапе. Пользователь включается в происходящее и анализирует все на примерах, а затем закрепляет знания с помощью памятки. На выходе получается такой смешанный формат обучения, где строгая теория в методичке сопровождается впечатлениями в VR.

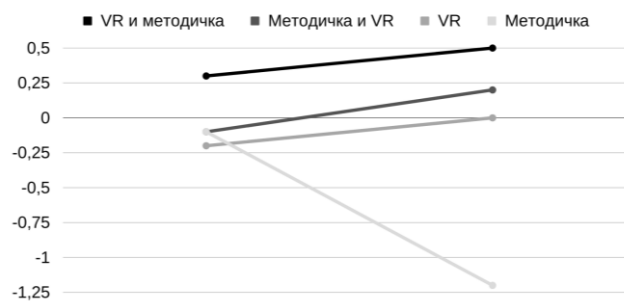


Рисунок 2 - Результаты входных и выходных тестов по четырем группам в переводе на стандартизированные оценки

Эти исследования отлично демонстрируют эффективность использования VR-тренажеров в корпоративном обучении. Правильно обозначив цели, построив грамотную структуру тестирования и дизайн, тщательно проанализировав результаты, на выходе можно создать идеальный тренажер, который отвечал бы особенностям конкретной компании.

## II. ТЕХНОЛОГИЯ БЫСТРОЙ РАЗРАБОТКИ VR ТРЕНАЖЕРОВ СБОРКИ/РАЗБОРКИ В СРЕДЕ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ VR CONCEPT

Представленные на рынке VR тренажеры являются высокотехнологичными, каждый тренажер — это красивый уникальный продукт, на разработку которого требуется много трудовых, временных и финансовых ресурсов, поэтому использование виртуальной реальности не распространено на предприятиях. Для массового применения VR тренажеров на предприятиях необходимо, чтобы создание тренажера стало конвейерным производством. Для распространения использования виртуальной реальности на предприятиях необходимо массово, быстро, недорого и качественно научиться создавать тренажеры.

Большинство представленных на рынке компаний для создания проектов для виртуальной реальности используют игровые движки, такие как Unity, Unreal Engine. Существенным их недостатком для использования в проектах промышленных предприятиях является сложность переноса CAD моделей в виртуальную реальность. Для добавления в проект 3D модели оборудования необходимо выполнить процедуру текстурирования и оптимизации модели для того, чтобы облегчить затраты на ее прорисовку в виртуальной реальности и тем самым повысить точность изображения. Данные процедуры по времени и затратам аналогичны созданию новой копии модели. Однако на российском рынке присутствует платформа для создания виртуальной реальности VR Concept, в которой реализована поддержка загрузки CAD моделей. VR Concept — российский разработчик приложения виртуального прототипирования для коллективной работы с цифровыми двойниками в виртуальной реальности [26].

VR Concept предоставляет широкий набор инструментов

для работы с виртуальным цифровым прототипом будущего здания, автомобиля, самолета, судна и любого другого сложного изделия на всех этапах его разработки — от визуализации бизнес-идеи до проведения виртуальных испытаний и внесения изменений на этапе проектирования [27]. Среди основных преимуществ VR Concept можно выделить следующие:

1) Наличие собственного движка, алгоритмы которого позволяют снизить требования к производительности ресурсов, что делает возможность работы в виртуальной реальности на не самых мощных компьютерах и ноутбуках

2) Бесшовная интеграция, проявляющаяся в возможности загружать CAD и BIM модели в VR без предварительной обработки. VR Concept поддерживает загрузку большинства форматов САПР-систем: AutoCAD, NanoCAD, Revit, Solidworks, КОМПАС-3D

3) Коллективная работа. Возможно организовать доступ к одной модели нескольких человек, которым даже не обязательно находиться в одном месте. К одному проекту по удаленному доступу может подключиться неограниченное число пользователей. Для организации совместной работы в виртуальной реальности необходимо настроить порты роутера для открытия доступа по сети и прописать настройки плагина, отвечающего за запуск виртуальной реальности

4) Простой и интуитивно понятный интерфейс делает возможным быстрый старт без навыков программирования

В работе реализован прототип конвейерной разработки тренажеров, выделены общие этапы к созданию тренажера в виртуальной реальности. Для разработки тренажера сборки/разборки любого вида промышленного оборудования можно выделить одинаковые шаги. Систематизация и унификация одинаковых шагов позволяет создать прототип конвейерной разработки, при которой определены шаблоны, которые нужно настроить, последовательность одинаковых элементов реализована заранее.

На базе VR Concept предложена технология создания тренажеров для виртуальной реальности. Разработаны модули, в которых реализован функционал поддержки разных видов подсказок для обучения и общих сценариев обучения процессу сборки/разборки промышленного оборудования. Данный подход позволяет массово создавать тренажеры со схожим функционалом для разных типов оборудования. Подход, предполагающий использование платформы VR Concept для разработки тренажера сборки/разборки промышленного оборудования в виртуальной реальности, предполагает выполнение следующих этапов:

1) Сбор информации об объекте тренажера, получение технологической карты разборки/сборки оборудования, нормативной документации, 3D моделей оборудования.

2) Создание сценария разборки оборудования, включающий в себя последовательность шагов, которые необходимо выполнить для разборки или сборки оборудования.

3) Загрузка 3D моделей оборудования и вспомогательных элементов в сцену редактора VR Concept (поддерживаются конструкторские CAD и BIM форматы, для оборудования, рассматриваемого в работе, не требуется оптимизация загружаемых файлов)

4) Настройка сцены в редакторе VR Concept (задание свойств элементов)

5) Настройка сценария разборки оборудования и подсказок для процесса обучения с помощью настольного приложения для создания конфигурационных файлов

В процессе создания тренажера происходит преобразование исходных данных о последовательности разборки оборудования из одного формата в другой. На первом этапе присутствуют неструктурированные данные, такие как технологические карты ремонта, записи процесса сборки/разборки, полученные в результате наблюдения за работой на производстве, интервью специалистов по ремонту, начальников производства. Эти данные могут быть неполными или наоборот излишними. Для создания тренажера исходные данные нужно формализовать, привести к единому виду, который будет содержать достаточно информации о последовательности разборки.

На втором этапе формируется перечень инструкций разборки оборудования, происходит процесс формализации данных. Каждая инструкция содержит информацию об одной элементарной операции. Все детали 3D модели должны быть пронумерованы и поставлены в соответствие элементам из перечня инструкций. Также на данной стадии работы с данными определяется количество этапов разборки. Инструкции разборки, полученные на данном этапе, используются для настройки сцены и создания файла инструкций, который загружается в программу логики тренажера, поэтому правильность формирования инструкции разборки и построения соответствия между деталями 3D модели и описанием операций важна.

На третьем этапе формируется инструкция разборки оборудования в виде, в котором она загружается в программу тренажера. В качестве формата для загрузки в программу выбран json. Программа VR тренажера принимает на вход json файл, состоящий из массива элементарных инструкций. Главным преимуществом разработки VR тренажеров сборки/разборки промышленного оборудования в среде виртуальной реальности VR Concept с использованием универсальных модулей является то, что для создания тренажера не требуется знание языков программирования и опыт работы с движками для визуализации. Разработка тренажера заключается в настройке сцены проекта в графическом редакторе и создании файлов инструкций тренажера с помощью настольного приложения.

### III. РАЗРАБОТКА МОДУЛЕЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ

Для создания тренажеров с использованием описанной

технологии необходимы программный модули, в которых реализованы общие функции. Для использования технологии разработана система, концептуальная архитектура которой представлена на рисунке 3. В разрабатываемой системе можно выделить две независимые подсистемы. Первая подсистема представляет собой программу для запуска и функционирования VR тренажера сборки/разборки промышленного оборудования.

Именной в этой программе реализован общий алгоритм сценария обучения персонала сборке/разборке оборудования, который включает в себя обработку действий пользователя в виртуальной реальности, запуск необходимых подсказок, перемещение элементов. В ней можно выделить следующие логические модули:

- 1) Модуль демонстрации сборки/разборки оборудования
- 2) Модуль воспроизведения звуковых подсказок
- 3) Модуль отображения текстовых (графических) подсказок
- 4) Модуль загрузки инструкции разборки оборудования и конфигурационных файлов тренажера
- 5) Модуль обмена данными с VR Concept

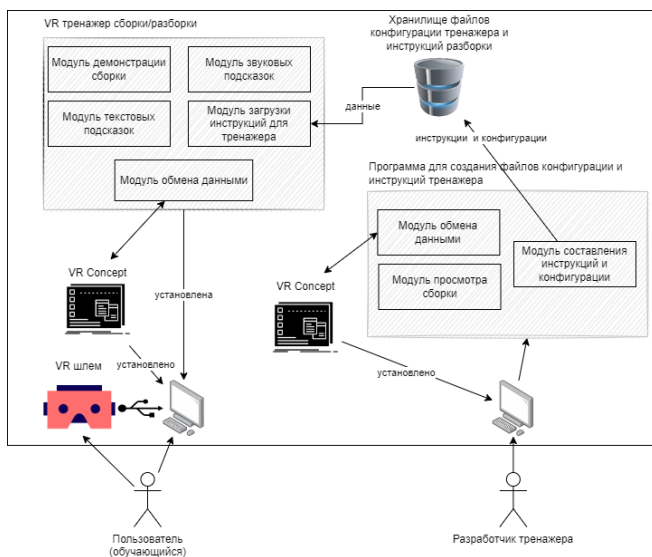


Рисунок 3 - Концептуальная архитектура системы

При запуске программы происходит загрузка конфигурационных файлов с описанием подсказок, с последовательностью операций разборки оборудования. В случае успешной загрузки файлов пользователь может приступить к использованию VR тренажера. Ядро VR Concept регулярно отправляет UDP пакет с состояниями рычагов, отвечающих за запуск подсказок. В программе происходит обработка полученных данных. В случае изменения входящего значения происходит запуск или остановка демонстрации разборки, воспроизведения аудио файла, обновление номера этапа или смены графической подсказки.

Вторая подсистема представляет собой программу для создания конфигурационных файлов для запуска тренажера и инструкции разборки. В программе можно выделить следующие функциональные модули:

- 1) Модуль просмотра операции сборки
- 2) Модуль создания инструкции разборки и конфигурационных файлов для тренажера
- 3) Модуль обмена данными с VR Concept.

Для реализации модулей выбран язык программирования C++, который используется в ядре VR Concept. Для создания настольного приложения был выбран кроссплатформенный фреймворк Qt, предоставляющий классы для создания настраиваемых графических интерфейсов. Преимущество технологии быстрого создания тренажеров в среде виртуальной реальности VR Concept является то, что человеку не нужно знать языки программирования для написания логики тренажера. Алгоритмы управления подсказками заранее реализованы, для их использования для конкретного вида оборудования требуется только задание настроек индексов в конфигурационных файлах. Чтобы облегчить создание конфигурационных файлов используется автогенерация файлов с помощью экранных форм. Для этого реализовано настольное графическое приложение. Таким образом для создания тренажера не требуются специальные знания в области программирования и работы в виртуальных средах.

#### IV. VR ТРЕНАЖЕР СБОРКИ/РАЗБОРКИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Авторами разработан и реализован прототип высокопроизводительной технологии разработки VR тренажеров, опишем ее применение на примере создания тренажера сборки/разборки центробежного консольного насоса K160/30 (K160/20). В качестве исходных данных для разработки тренажера получены от заказчика чертежи насоса, комплект технологической документации по ремонту [28], конструкторские 3D модели оборудования. В работе рассмотрен упрощенный вариант насоса, степень детализации элементов которого уменьшена, представлены только ключевые элементы насоса. Создание обучающего VR тренажера сборки/разборки насоса проходила в соответствии с предложенной технологией быстрой разработки в среде виртуальной реальности VR Concept. Первый этап разработки тренажера – это подготовка исходных данных для последующего создания проекта в редакторе VR Concept. На этом этапе аналитик (технолог, специалист) на основе данных из технологической документации по ремонту подготовил детализированный сценарий разборки насоса. В сценарии номера элементов соответствуют обозначениям на чертежах. Было выделено 4 этапа разборки:

- 1) Демонтаж насоса
- 2) Разборка корпуса насоса
- 3) Разборка подшипникового узла
- 4) Разборка спирального корпуса

Полученный подробный сценарий разборки и переданные 3D модели оборудования послужили исходными материалами для создания VR тренажера в данной выпускной квалификационной работе. На основе сценария разборки были подготовлены



справочные материалы: записаны аудиофайлы с описанием этапов и озвучиванием элементарных операций, составлены графические подсказки, включающие чертежи насоса и сценарий разборки. Также были подобраны объекты для управления подсказками. После подготовки справочных материалов, был создан проект VR Concept. В проект были добавлены модели насоса, рычагов управления подсказками, слайдер для смены этапов и текстовых подсказок. Объектам были добавлены необходимые свойства.

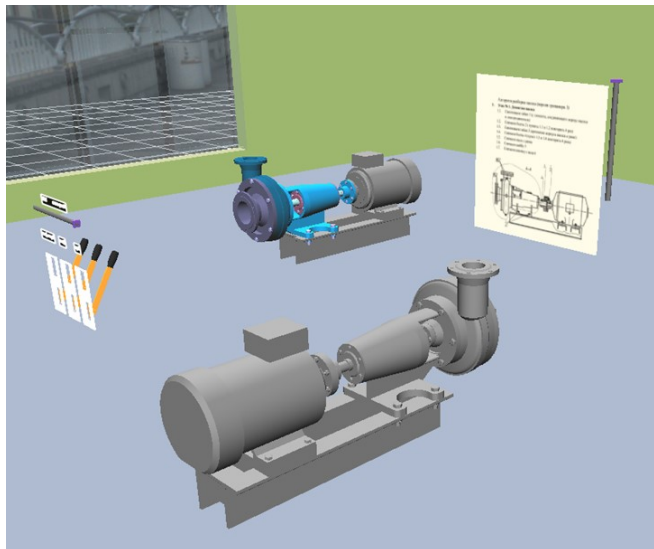


Рисунок 4 - Вид сцены в виртуальной реальности

Для эффективного обучения отдельно реализованы поэтапная демонстрация сборки/разборки насоса и непосредственные действия над элементами оборудования обучаемого. Для этого добавлены две модели насоса: первая для разборки контроллерами, вторая для демонстрации сценария разборки – три рычага для запуска разных типов подсказок, слайдеры для просмотра текстовых подсказок и смены номера этапа, изображения с текстовыми подсказками.

Обучающийся может просмотреть демонстрацию разборки или сборки для каждого отдельного этапа с остановками и повторами, прослушать аудио подсказки, прочитать справочные материалы и выполнить разборку самостоятельно.

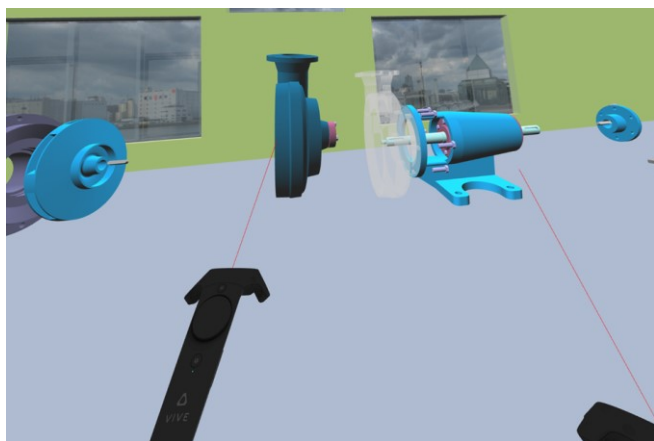


Рисунок 5 - Взаимодействие с предметами с помощью контроллеров

Кроме обучающегося, за процессом тренировки могут наблюдать инструктор, экзаменационная комиссия.

Наблюдение может быть внешним, когда инструктор или члены комиссии смотрят отображение того, что видит пользователь в виртуальной реальности. Также наблюдающие с помощью коллективного режима доступа могут подключиться с другого компьютера к проекту. Для этого у них должны быть очки виртуальной реальности, установленное и настроенное программное обеспечение VR Concept. Наблюдающие видят полностью сцену для обучения со всеми встроенными элементами и аватар пользователя, который проходит обучение. Они могут общаться с пользователем и взаимодействовать с объектами в сцене без ограничения.

## V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ технологического развития и потребностей бизнеса показал, что много недорогих VR тренажеров будут востребованы, поскольку виртуальная реальность позволяет обучать персонал предприятия работе со сложным оборудованием. Основная проблема в разработке современных VR тренажеров заключается в длительности и дороговизне процесса создания одного экземпляра тренажера. В работе предложена технология создания недорогих, но реалистичных тренажеров сборки/разборки промышленного оборудования. Для реализации технологии был выбран инструмент VR Concept. Реализованная технология позволяет облегчить и ускорить процесс создания тренажера. Реализация обобщенного сценария процесса обучения и заранее подготовленных функций обработки подсказок позволяет создавать тренажер сборки/разборки оборудования только путем настройки проекта в редакторе VR Concept и конфигурационных файлов, в которые вносятся информация о типах используемых подсказок и их индексы. Авторами была не только придумана теоретическая технология, но и были опробованы практические примеры создания тренажеров в виртуальной реальности.

Таким образом, было создано отображение физического мира в виртуальной реальности. 3D модели соответствуют физическим объектам разбираемого оборудования. При этом возможна различная степень детализации для обучения персонала, занимающегося разборкой разных подсистем. В одном случае крупные узлы оборудования могут оставаться цельными и неразборными, а для обучения работе с данным узлом возможна детализация до наименьших разборочных элементов: гаск, шайб, винтиков. При погружении в виртуальную реальность у обучающегося формируются навыки работы с оборудованием, сходные с навыками, сформированными при обучении на реальном оборудовании. Это достигается за счет соответствия цифровых моделей реальным физическим объектам, возможности перемещения деталей оборудования только согласно сценариям, осуществимым в реальной жизни, возможности звукового сопровождения взаимодействия объектов между собой (например, скрежет при снятии гаск, лязг металла). VR тренажеры могут быть



использованы для быстрого и эффективного обучения персонала. Так как VR тренажер включает в себя программный комплекс, то возможно реализация блоков программы, отвечающих за снятие данных при прохождении обучения. В автоматическом режиме возможно получение времени, затрачиваемого на прохождение обучающего курса, количество и типы совершенных ошибок. Последующий анализ типов ошибок позволит скорректировать процесс обучения для каждого сотрудника и сделать его персонализированным, что приведет к увеличению эффективности обучения

Дальнейшее развитие технологии быстрой разработки VR тренажеров связано с включением модулей логирования действий пользователя для последующей оценки пользователя, анализа процесса обучения, совершенных ошибок. Также возможно построение системы обучения, которая будет включать в себя вспомогательные приложения для ведения базы данных пользователей, прошедших обучения, перечня используемых тренажеров для разного оборудования.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность Захаркину Д.В., Генеральному директору ООО «ВР Концепт», за многочисленные обсуждения и взаимодействия в области работы платформы VR Concept; преподавателям ВИШ МИФИ Бойко О.В., Волобуевой Т.Ф., Мельникову В.Е. за помощь в разработке технологии.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям (<https://fasie.ru/>). ООО "ПРОТОТИП" Протокол заседания дирекции Фонда содействия инновациям №5 от 28 сентября 2021 г. заявка С1-105369 Старт-21-1 (2 очередь)

Соглашении, на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) по теме: «Разработка и испытания прототипов виртуального тренажера для сборочных производств в среде VR-concept на базе конверсии CAD-моделей промышленного оборудования» (Проект № 70473, заявка С1- 105369 в рамках реализации инновационного проекта «Разработка технологии высокоэффективного производства тренажеров для сборочных производств и ТОиР промышленного оборудования в среде виртуальной реальности VR-concept на базе прямой конверсии CAD и BIM-моделей»).

#### БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Jerald, Jason. (2015). The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality. 10.1145/2792790. 599
- [2] Sayali Joshi, Michael Hamilton, Robert Warren, Danny Faucett, Wenmeng Tian, Yu Wang, Junfeng Ma, Implementing Virtual Reality technology for safety training in the precast/ prestressed concrete industry, Applied Ergonomics, Volume 90, 2021, URL: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103286> (дата обращения: 9.11.2021)
- [3] Andersen, K., Gaab, S. J., Sattarvand, J., & Harris, F. C., Jr. (2020). METS VR: Mining evacuation training simulator in virtual reality for underground mines, Springer Nature Switzerland AG 2020 S. Latifi (ed.), 17th International Conference on Information Technology–New Generations (ITNG 2020), Advances in Intelligent Systems and

- Computing 1134, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-43020-7\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-030-43020-7_43) (дата обращения: 9.12.2021)
- [4] Ajith Benson, R., Krishnan, V.L., Anji Reddy, T., Prasad, G.R.K. Virtual reality-based welding training simulator (2016) International Journal of Control Theory and Applications, 9 (2), pp. 1235-1243.
- [5] Феофанов Александр Николаевич, Охмат Андрей Владимирович, Бердогоин Антон Валериевич VR/AR-технологии и их применение в машиностроении // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2019. №4 (6). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vr-ar-tehnologii-i-ih-primeneniye-v-mashi-nostroenii> (дата обращения: 09.12.2021).
- [6] Божко Аркадий Николаевич Автоматизация проектирования сборочных процессов сложных изделий с использованием систем виртуальной реальности// ИТНОУ: информационные технологии в науке, образовании и управлении. 2018. №2(6). URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-proektirovaniya-s-borochnyh-protsessov-slozhnyh-izdeliy-s-ispolzovaniem-sistem-virtualn-oy-realnosti> (дата обращения: 09.12.2021).
- [7] Фирсова П. Современные виды и методы обучения персонала: обзор основных технологий и принципов. [Электронный ресурс]: Программы для онлайн-обучения iSpring. - Режим доступа: <https://www.ispring.ru/elearning-insights/metody-obucheniya-personala> (Дата обращения 16.11.21)
- [8] Галеев А. Д., Поникаров С. И. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах: учебное пособие. Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. - Казань: Издательство КНИТУ, 2017. 152 с.
- [9] Ткаченко П. Статистика травматизма на производстве. [Электронный ресурс]: Лента - AttekGroup. - Режим доступа: <https://www.centrattek.ru/info/statistika-proizvod-travmatizm-po-miru-r-ossija/> (дата обращения: 26.05.2022).
- [10] «Форсайт компетенций» и «Атлас новых профессий». [Электронный ресурс]: Школа управления СКОЛКОВО - бизнес-образование. - Режим доступа: <https://www.skolkovo.ru/researches/sedec-research-new-jobs/> (дата обращения: 26.05.2022).
- [11] Атлас новых профессий 3.0. / под ред. Д. Варламовой, Д. Судакова. — М.: Интеллектуальная Литература, 2020. 456 с.
- [12] Дудырев Ф. Ф., Максименкова О. В. Симуляторы и тренажеры в профессиональном образовании: педагогические и технологические аспекты, Вопросы образования // Educational Studies Moscow. 2020. № 3. С. 255-276.
- [13] Edutainment как один из самых эффективных методов обучения персонала. [Электронный ресурс]: HRM Система Управления Персоналом - PeopleForce. - Режим доступа: <https://peopleforce.io/ru/blog/edutainment-odin-iz-samyh-effektivnyh-metodov-obucheniya-personala/> (Дата обращения 21.11.21).
- [14] Акользина, Г.И. Проблемы оценки и повышения эффективности использования совокупных трудовых ресурсов железнодорожного транспорта (на примере отделений железной дороги): 08.00.05 - Экономика и управление народным хозяйством: Дис. ... канд. экон. наук / Моск. ин-т инж. железнодорож. транспорта. М., 1989. 264 с.
- [15] Лёвин, Б.А. Непрерывное совершенствование и воспроизводство кадрового потенциала – основного фактора организации устойчивой и безопасной деятельности отрасли: 08.00.28 - (Организация производства): Дис. ... доктора техн. наук / ВНИИ охраны труда. М., 1990. 463 с.
- [16] Карасева Л.А. Особенности непрерывного профессионального образования специалистов со средним медицинским образованием. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.smedk.ru/wp-content/uploads/files/150/04.pdf> (Дата обращения 21.11.21).
- [17] Обучение персонала как конкурентное преимущество. [Электронный ресурс]: Логистика в российском бизнесе. - Режим доступа: [https://logistics.ru/9/24/i20\\_3065.htm](https://logistics.ru/9/24/i20_3065.htm) (Дата обращения 24.11.21).
- [18] Цифровое обучение персонала в пост-пандемическом мире. Статистика и перспективы на 2021 год. [Электронный ресурс]: RETAIL&LOYALTY: новости, статьи, кейсы, мнения экспертов. - Режим доступа: <https://retail-loyalty.org/news/tsifrovoye-obuchenie-personala-v-post-pan-demicheskoy-mire-statistika-i-perspektivy-na-2021-god/> (Дата обращения 24.11.21).
- [19] Решетникова М. «Будущее не случается просто так»: прогнозы Марка Цукерберга на 2022 год. [Электронный ресурс]: РБК Тренды - Кто и как меняет глобальную экономику. - Режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/61c4713b9a7947782a89d189> (дата обращения: 27.05.2022).
- [20] Захарчук О. Виртуальная жизнь: каким может быть наше будущее с метавселенной Facebook. [Электронный ресурс]: РБК Тренды - Кто и как меняет глобальную экономику. - Режим доступа:

- <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/61166bb09a79475d9a57800e>  
(дата обращения: 27.05.2022).
- [21] Учебные тренажеры и симуляторы. [Электронный ресурс]: Учебно-лабораторное оборудование Zarnitza. - Режим доступа: <https://zarnitza.ru/press-center/blog/uchebynye-trenazhery-i-simulyatory/> (Дата обращения 21.11.21).
- [22] Кириллов Д. Исследование применения виртуальной реальности для развития эмоционального интеллекта. Пилотное исследование. [Электронный ресурс]: Разработка VR/AR решений и съемка 360-видео для бизнеса - Modum Lab. - Режим доступа: [https://modumlab.com/files/ModumLab\\_EmotionalIntelligence\\_Research.pdf](https://modumlab.com/files/ModumLab_EmotionalIntelligence_Research.pdf) (Дата обращения 21.11.21).
- [23] Кириллов Д. Эффективность использования имитационных технологий VR для снижения уровня тревожности во время публичных выступлений. Исследование. [Электронный ресурс]: Разработка VR/AR решений и съемка 360-видео для бизнеса - Modum Lab. - Режим доступа: [https://modumlab.com/files/ModumLab\\_SpeechResearch.pdf](https://modumlab.com/files/ModumLab_SpeechResearch.pdf) (Дата обращения 21.11.21).
- [24] Кириллов Д. Проверка навыков действий в нестандартных ситуациях в VR. Сравнительное исследование. [Электронный ресурс]: Разработка VR/AR решений и съемка 360-видео для бизнеса - Modum Lab. - Режим доступа: [https://modumlab.com/files/ModumLab\\_Research\\_TestInVR.pdf](https://modumlab.com/files/ModumLab_Research_TestInVR.pdf) (Дата обращения 21.11.21).
- [25] VR эффективен в корпоративном обучении. Результаты исследования Modum Lab. [Электронный ресурс]: Разработка VR/AR решений и съемка 360-видео для бизнеса - Modum Lab. - Режим доступа: <https://modumlab.com/blog/research> (Дата обращения 21.11.21).
- [26] VR Concept [Электронный ресурс]. – URL: <https://vrconcept.net/vr/> (дата обращения: 25.01.2022).
- [27] VR Concept Инструмент виртуального прототипирования [Электронный ресурс]. –URL:[https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:VR\\_Concept\\_Инструмент\\_виртуального\\_прототипирования](https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:VR_Concept_Инструмент_виртуального_прототипирования) (дата обращения: 04.02.2022).
- [28] Насос центробежный консольный K160/30 (K160/20) РЕМОНТ КОМПЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Балаковская атомная станция»

# The problem of developing VR assembly / disassembly simulators, and a variant of a high-performance solution based on VR Concept technology

M.G. Zhabitskii, S.A. Kulak, A.S. Novikova

**Abstract—** Virtual reality technology today can be successfully used not only in the entertainment industry, where it is already firmly entrenched, but also for training personnel in various fields of human activity. The development of innovative technologies will allow Russia to take a leading position in technology and production. The widespread introduction of virtual simulators in personnel training can make training more efficient, and production more economical, more productive and more accurate. The article considers the technology for developing virtual simulators for the assembly and disassembly of industrial equipment, reviews the methods of personnel training in terms of maximum efficiency and virtual environments and ways to create VR simulators, their advantages and limitations. The article proposes a technology for creating simulators using the VR Concept platform, which allows you to speed up the development process due to the presence of pre-implemented common modules. This technology is a step towards the development of conveyor production of virtual reality simulators, which will reduce the time, cost and difficulty of implementing virtual reality technology in production.

**Key words—**virtual reality, industrial equipment assembly/dismantling simulators, VR Concept, personnel training.

## REFERENCES

- [1] Gerald, Jason. (2015). The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality. 10.1145/2792790.599
- [2] Sayali Joshi, Michael Hamilton, Robert Warren, Danny Faucett, Wenmeng Tian, Yu Wang, Junfeng Ma, Implementing Virtual Reality technology for safety training in the precast/ prestressed concrete industry, *Applied Ergonomics*, Volume 90, 2021, URL: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103286> (accessed 9.11.2021)
- [3] Andersen, K., Gaab, S. J., Sattarvand, J., & Harris, F. C., Jr. (2020). METS VR: Mining evacuation training simulator in virtual reality for underground mines, Springer Nature Switzerland AG 2020 S. Latifi (ed.), 17th International Conference on Information Technology–New Generations (ITNG 2020), *Advances in Intelligent Systems and Computing* 1134, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-43020-7\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-030-43020-7_43) (Date of access: 9.12.2021)
- [4] Ajith Benson, R., Krishnan, V.L., Anji Reddy, T., Prasad, G.R.K. Virtual reality-based welding training simulator (2016) *International Journal of Control Theory and Applications*, 9 (2), pp. 1235-1243.
- [5] Feofanov Alexander Nikolaevich, Okhmat Andrey Vladimirovich, Berdyugin Anton Valerievich VR/AR-technologies and their application in mechanical engineering // *Automation and modeling in design and management*. 2019. No. 4 (6). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vr-ar-tehnologii-i-..> (Date of access: 12/09/2021).
- [6] Bozhko Arkady Nikolaevich Automation of the design of assembly processes of complex products using virtual reality systems // *ITNOU: information technologies in science, education and management*. 2018. №2(6). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomatizatsiya-pro..> (Date of access: 12/09/2021).
- [7] Firsova P. Modern types and methods of staff training: an overview of basic technologies and principles. [Electronic resource]: Programs for online learning iSpring. - Access mode: <https://www.ispring.ru/elearning-insights/methody-obu..> (Date of access 11/16/21)
- [8] Galeev A.D., Ponikarov S.I. Analysis of the risk of accidents at hazardous production facilities: textbook. Ministry of Education and Science of Russia, Kazan. nat. research technol. un-t. - Kazan: KNRTU Publishing House, 2017. 152 p.
- [9] Tkachenko P. Statistics of traumatism at work. [Electronic resource]: Tape - AttekGroup. - Access mode: <https://www.centrattek.ru/info/statistika-proizvod-tr..> (date of access: 05/26/2022).
- [10] Competence Foresight and Atlas of Emerging Jobs. [Electronic resource]: School of Management SKOLKOVO - business education. - Access mode: <https://www.skolkovo.ru/researches/sedec-research-new..> (date of access: 05/26/2022).
- [11] Atlas of new professions 3.0. / ed. D. Varlamova, D. Sudakov. - M.: Intellectual Literature, 2020. 456 p.
- [12] Dudyrev F. F., Maksimenkova O. V. Simulators and trainers in vocational education: pedagogical and technological aspects, *Educational Studies // Educational Studies Moscow*. 2020. No. 3. S. 255-276.
- [13] Edutainment as one of the most effective methods of staff training. [Electronic resource]: HRM Personnel Management System - PeopleForce. - Access mode: <https://peopleforce.io/ru/blog/edutainment-odin-iz-sa..> (Accessed 11/21/21).
- [14] Akolzina, G.I. Problems of assessing and improving the efficiency of using the total labor resources of railway transport (on the example of railway departments): 08.00.05 - Economics and management of the national economy: Dis. ... cand. economy Sciences / Moscow. in-engineer railway transport. M., 1989. 264 p.
- [15] Levin, B.A. Continuous improvement and reproduction of human resources - the main factor in the organization of sustainable and safe activities of the industry: 08.00.28 - (Organization of production): Dis. ... doctor of tech. sciences / VNI of labor protection. M., 1990. 463 p.
- [16] Karaseva L.A. Features of continuing professional education of specialists with secondary medical education. [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.smedk.ru/wp-content/uploads/files/150/04.pdf> (Accessed 11/21/21).
- [17] Personnel training as a competitive advantage. [Electronic resource]: Logistics in Russian business. - Access mode: [https://logistics.ru/9/24/i20\\_3065.htm](https://logistics.ru/9/24/i20_3065.htm) (Accessed 11/24/21).
- [18] Digital staff training in a post-pandemic world. Statistics and outlook for 2021. [Electronic resource]: RETAIL&LOYALTY: news, articles, case studies, expert opinions. - Access mode: <https://retail-loyalty.org/news/tsifrovoe-obuchenie-p..> (Accessed 11/24/21).
- [19] Reshetnikova M. "The future does not just happen": Mark Zuckerberg's forecasts for 2022. [Electronic resource]: RBC Trends - Who and how is

- changing the global economy. - Access mode: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/61c4713b9a794..> (date of access: 05/27/2022).
- [20] Zakharchuk O. Virtual life: what can be our future with the Facebook metaverse. [Electronic resource]: RBC Trends - Who and how is changing the global economy. - Access mode: <https://trends.rbc.ru/trends/futurology/61166bb09a794..> (date of access: 05/27/2022).
- [21] Training simulators and simulators. [Electronic resource]: Educational and laboratory equipment Zarnitza. - Access mode: <https://zarnitza.ru/press-center/blog/uchebnye-trenaz..> (Accessed 11/21/21).
- [22] Kirillov D. Research on the use of virtual reality for the development of emotional intelligence. Pilot study. [Electronic resource]: Development of VR / AR solutions and shooting 360 video for business - Modum Lab. - Access mode: [https://modumlab.com/files/ModumLab\\_EmotionalIntellig..](https://modumlab.com/files/ModumLab_EmotionalIntellig..) (Accessed 11/21/21).
- [23] Kirillov D. The effectiveness of using VR simulation technologies to reduce anxiety during public speaking. Study. [Electronic resource]: Development of VR / AR solutions and shooting 360 video for business - Modum Lab. - Access mode: [https://modumlab.com/files/ModumLab\\_SpeechResearch.pdf](https://modumlab.com/files/ModumLab_SpeechResearch.pdf) (Accessed 11/21/21).
- [24] Kirillov D. Checking the skills of actions in emergency situations in VR. Comparative study. [Electronic resource]: Development of VR / AR solutions and shooting 360 video for business - Modum Lab. - Access mode: [https://modumlab.com/files/ModumLab\\_Research\\_TestInVR..](https://modumlab.com/files/ModumLab_Research_TestInVR..) (Accessed 11/21/21). The problem of developing VR assembly / disassembly simulators, and a variant of a high-performance solution based on VR Concept technology
- [25] VR is effective in corporate training. Modum Lab results. [Electronic resource]: Development of VR / AR solutions and shooting 360 video for business - Modum Lab. - Access mode: <https://modumlab.com/blog/research> (Accessed 11/21/21).
- [26] VR Concept [Electronic resource]. - URL: <https://vrconcept.net/vr/> (date of access: 01/25/2022). M.G. Zhabitskii, S.A. Kulak, A.S. Novikova
- [27] VR Concept Virtual prototyping tool [Electronic resource]. - URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Product:VR\\_Concept\\_..](https://www.tadviser.ru/index.php/Product:VR_Concept_..) (date of access: 04.02.2022).
- [28] Centrifugal console pump K160/30 (K160/20) REPAIR SET OF TECHNOLOGICAL DOCUMENTATION Balakovo nuclear power plant