

EDN: OMYRGD

УДК 622.276.51.002.5:004.946.006.26

Development of a Virtual Reality Simulator for Obtaining Practical Skills in Repairing and Disassembling Fountain Fittings

Aleksei E. Astrashabov, Maxim V. Rumyancev,
Nikita O. Pikov, Aleksei Yu. Sanin*,
SHamil M. Zajnetdinov, Ilia I. Lauri,
Nikolai S. Solopenko, Stepan A. Kolesnikov,
Anna A. Denisova, Kristina A. Danilova
and Ruslan A. Baryshev

*Siberian Federal University
Krasnoyarsk, Russian Federation*

Received 26.12.2022, received in revised form 15.01.2023, accepted 20.01.2023

Abstract. The experience of developing a virtual reality simulator in the oil and gas industry for obtaining practical skills of working with complex and hard-to-reach equipment is presented. In the field of oil and gas production, one of such devices is a fountain armature, on the basis of which a VR simulator was developed. During the training process, the user is placed in a virtual environment in which he interacts with the components of the fountain fittings and with the tools necessary for its maintenance. The simulator implements three scenarios and 13 stages of repair of structural components of fountain fittings, the article provides a brief overview of them. The training simulator is developed on the basis of the cross-platform development environment “Unity”. The system of its operation was tested using Oculus Quest 2 virtual reality glasses. With the help of photogrammetry technology, the dimensions of the 3D models used correspond to the dimensions of real fountain fittings. The virtual reality space is modeled by a 360-degree panorama, which makes it possible for the student to fully feel himself in a virtual environment, associating it with the real world. The use of virtual reality simulators has high economic efficiency, can be used to increase the effectiveness of the theoretical part of training.

Keywords: VR technologies, VR simulator, 3D model, virtual learning environment, interactivity, modern educational technologies, engineering education, training.

Research area: engineering education.

Citation: Astrashabov A. E. Rumyancev M. V., Pikov N. O., Sanin A. Yu., Zajnetdinov Sh. M., Lauri I. I., Solopenko N. S., Kolesnikov S. A., Denisova A. A., Danilova K. A.,



© Siberian Federal University. All rights reserved

* Corresponding author E-mail address: asanin@sfu-kras.ru

Baryshev R. A. Development of a virtual reality simulator for obtaining practical skills in repairing and disassembling fountain fittings. In: *J. Sib. Fed. Univ. Humanit. soc. sci.*, 2023, 16(3), 481–493. EDN: OMYRGD

Разработка тренажёра виртуальной реальности получения практических навыков ремонта и разбора фонтанной арматуры

**А.Е. Астрашабов, М.В. Румянцев, Н.О. Пиков,
А.Ю. Санин, Ш.М. Зайнетдинов, И.И. Лаури,
Н.С. Солопенко, С.А. Колесников, А.А. Денисова,
К.А. Данилова, Р.А. Барышев**

*Сибирский федеральный университет
Российская Федерация, Красноярск*

Аннотация. Представлен опыт разработки тренажёра виртуальной реальности в нефтегазодобывающей отрасли для получения практических навыков работы со сложным и труднодоступным оборудованием. В сфере нефтегазодобычи одним из таких устройств является фонтанная арматура, на основе которой был разработан VR-тренажёр. В процессе обучения пользователь помещается в виртуальную среду, в которой взаимодействует с компонентами фонтанной арматуры и с инструментами, необходимыми для её обслуживания. В тренажёре реализованы три сценария и 13 этапов ремонта конструктивных компонентов фонтанной арматуры, в статье представлен их краткий обзор. Обучающий тренажёр разработан на базе кросс-платформенной среды разработки «Unity». Система его работы была испытана с помощью очков виртуальной реальности Oculus Quest 2. С помощью технологии фотограмметрии достигнуто соответствие размеров используемых 3D-моделей габаритам реальной фонтанной арматуры. Пространство виртуальной реальности моделируется панорамой 360 градусов, что дает возможность обучающемуся полноценно ощущать себя в виртуальной среде, ассоциируя её с реальным миром. Применение тренажёров виртуальной реальности имеет высокую экономическую эффективность, способствует повышению эффективности теоретической части обучения.

Ключевые слова: VR-технологии, VR-тренажёр, 3D-модель, виртуальная обучающая среда, интерактивность, современные образовательные технологии, инженерное образование, обучение.

Научная специальность: 5.8.7 – методология и технология профессионального образования.

Цитирование: Астрашабов, А. Е., Румянцев, М.В., Пиков, Н.О. и др. Разработка тренажёра виртуальной реальности получения практических навыков ремонта и разбора фонтанной арматуры. *Журн. Сиб. федер. ун-та. Гуманитарные науки*, 2023, 16(3), 481–493. EDN: OMYRGD

Введение

Интенсивное развитие технологии виртуальной реальности (далее VR) создаёт множество возможностей для её применения в различных сферах деятельности. Об этом говорят промышленные исследования, которые описывают VR как потенциально недорогое решение для проектирования новых продуктов и моделирования обучающих процессов (Boud, Haniff, 1999).

Обучение, аттестация и повышение квалификации сотрудников – одна из основных задач, от выполнения которой зависит возможность работы и развития предприятия. Выполнение подобных задач сопровождается существенными экономическими расходами. В случае с отраслью нефтегазодобычи речь идёт о совокупности значительных экономических затрат и потенциальных рисков для здоровья обучающихся.

Существенное снижение расходов и рисков при обучении и регулярной аттестации персонала стало возможным с интеграцией VR-технологии в процесс обучения посредством разработки VR-тренажёров. VR-тренажёр представляет собой такую форму обучения, при которой необходимые для обучения физические и теоретические элементы помещены в виртуальное пространство. Таким образом, при переносе традиционного процесса познания в виртуальную среду предприятие избегает ряда экономических расходов на формирование физической обучающей среды, нивелируя их гораздо менее существенными затратами на оборудование для обучения.

Сегодняшние возможности VR-тренажёров позволяют обучающемуся изучить различные особенности профессии без риска для здоровья и значительных экономических расходов со стороны предприятия. К положительным аспектам данной формы обучения также стоит отнести существенную экономию времени для проводящей и проходящей обучение сторон. Отсутствие физической площадки для обучения освобождает обучающую сторону от необходимости производить транспортировку и экипировку обучающихся, а также избавляет предприятие от расходов на организацию

условий их содержания (Safonov, Parunov, Sinyagin, 2021). Наконец, VR-тренажёр позволяет предоставлять информацию в интересной и удобной форме с возможностями, ограниченными в реальном мире. Визуальные эффекты и анимация при изучении руководств и инструкций недоступны для традиционных бумажных носителей.

Виды систем виртуальной реальности

На данный момент существует несколько видов виртуальных систем, отличающихся степенью взаимосвязи с реальным миром. Такими системами являются классическая виртуальная (VR), дополненная (AR) и смешанная (MR) реальности. Каждая из реальностей обладает своими особенностями.

Обычная виртуальная реальность предусматривает полное программное погружение в виртуальный мир. Дополненная реальность характеризуется наложением информации, генерируемой компьютером, на изображение реального мира. Смешанная реальность отличается тесным объединением реального и виртуального миров. При сравнении видов виртуальных систем важно отметить, что наибольшей степенью погруженности в виртуальную среду характеризуется именно классическая виртуальная реальность.

Классическая виртуальная реальность обладает ключевой особенностью, необходимой для разработки описываемого тренажёра, – трёхмерным проектированием окружающей среды и моделированием объектов для взаимодействия. Такой подход к созданию тренажёра даёт возможность обучающимся получить те навыки, приобретение которых в реальном мире может быть невозможно или затруднено в силу различных обстоятельств, таких как опасность причинения вреда себе или окружающим, высокая стоимость оборудования или невозможность допустить ошибку в процессе обучения (Petrova, Bondareva, 2019). Именно виртуальная реальность предоставляет студентам такую форму обучения, при которой доступно не только теоретическое и визуальное изучение сложных техниче-

ских процессов, но и детально спроектированная обучающая среда для получения и закрепления практических навыков. Важно отметить, что эффективность обучения с помощью тренажёра виртуальной реальности напрямую связана со степенью присутствия, а значит, и с такими составляющими иллюзии присутствия в виртуальном пространстве, как погружённость, вовлечённость и интерактивность (Elkhova, 2015).

VR-технологии

Выбор программной и аппаратной платформ для эксплуатации тренажёра определяется технологией, на основе которой будет проводиться разработка. На сегодняшний день применение VR-технологий вышло на новый уровень, преодолев рамки досуговой индустрии. С недавнего времени крупнейшие компании, такие как Walmart, Boeing или Porsche, стали активно применять VR-технологии в процессах обучения и повышения квалификации персонала (Carter, Egliston, 2021, Five Companies that are Using VR for Training, 2022). Кроме того, в развитых странах VR-технологии уже активно используются в образовательной сфере. Преимуществами использования технологии виртуальной реальности при разработке тренажёра можно считать:

1. Наглядность – возможность визуализации и восприятия практически любого реального объекта или процесса.
2. Безопасность – сведение к минимуму рисков причинения вреда здоровью при работе со сложными и опасными объектами производства или эксплуатации.
3. Вовлечённость – высокая концентрация внимания человека на событиях и объектах виртуального мира. Совокупность воздействия на основные органы чувств, такие как зрение и слух, и игровая форма подачи информации позволяют пользователю наиболее глубоко интегрироваться в процесс обучения.
4. Фокусировка внимания – благодаря системе трекинга, отслеживающей ориентацию в пространстве, пользователь не отвлекается на механизмы управления вос-

приятием. Кроме того, пространство в VR моделируется панорамой 360 градусов, что дает пользователю возможность полноценно ощущать себя в виртуальной среде, ассоциируя её с реальным миром, и не отвлекаться на внешние факторы.

Перечисленные преимущества в совокупности с доступностью интеграции в процессы обучения позволяют сделать вывод о том, что именно VR-технологии могут наиболее эффективно применяться в сфере обучения работе со сложными устройствами (Вајurov, Petrova, 2019). Наиболее рациональным решением для предприятия будет создание VR-тренажёра в первую очередь для наиболее дорогостоящего и труднодоступного оборудования. В сфере нефтегазодобычи одним из важнейших устройств является фонтанная арматура (ФА), на основе которой был разработан VR-тренажёр.

Устройство фонтанной арматуры

Фонтанная арматура монтируется на устье фонтанирующей скважины и обеспечивает типовую обвязку трубопроводов за счёт своей конструкции, что позволяет управлять потоком среды в скважине и осуществлять основные контролируемые и производственные процессы (Armatura fontannaia, 2022).

Функциональные составляющие ФА:

- герметизация нефтяной скважины;
- направление движения скважинной продукции;
- регулирование дебита скважинной продукции;
- доступ к забою скважины;
- манипуляции в затрубном пространстве.

Сложные конструкционные особенности ФА, представленные на рис. 1, позволяют осуществлять большой объем разноплановых работ. Подобное функциональное разнообразие достигается за счёт большого количества конструктивных компонентов, каждый из которых отвечает за бесперебойную работу ФА и расширяет возможности для мониторинга состава сырья в процессе добычи.

Список компонентов ФА и их функций:

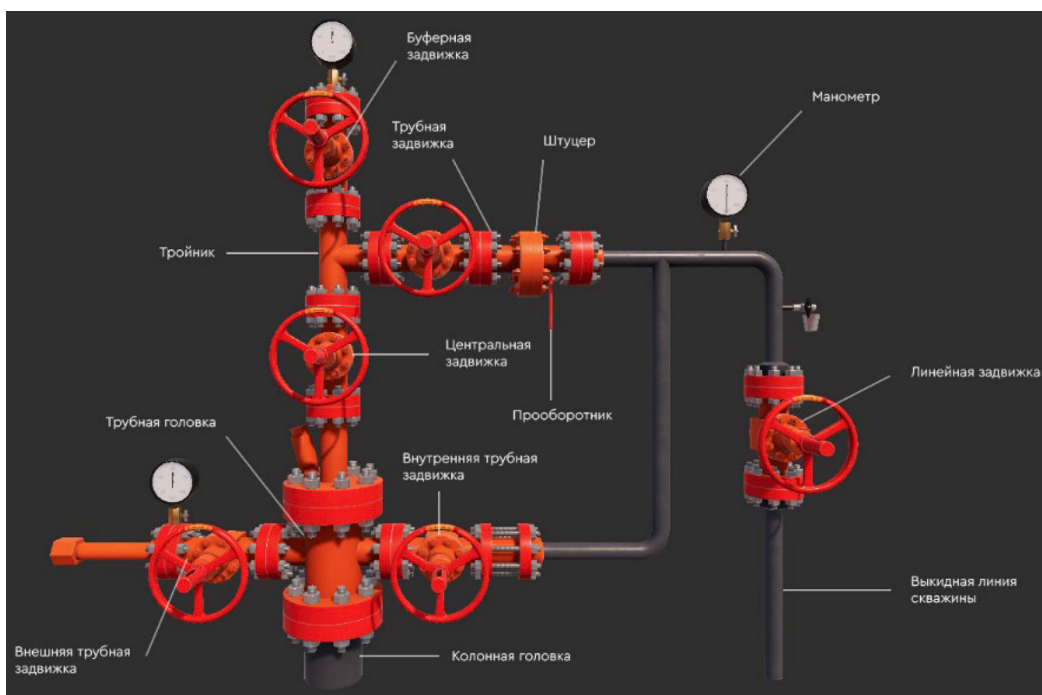


Рис. 1. Устройство фонтанной арматуры
Fig.1. Installation of fountain fittings

- задвижки позволяют задать направление движения сырья;
- манометр измеряет давление газа или жидкость внутри системы;
- штуцер обеспечивает контроль скорости движения сырья;
- пробоотборник позволяет брать пробу добываемого сырья без остановки производства;
- трубная головка обеспечивает подвеску насосно-компрессорных труб;
- колонная головка сохраняет герметизацию трубопровода и позволяет установить ФА;
- обратный клапан защищает трубопровод от возникновения обратного движения добываемого сырья под действием встречного давления.

Постоянная интенсивная эксплуатация фонтанной арматуры, часто в неблагоприятных природных условиях, приводит к неизбежному износу деталей конструкции. «Стандартные операционные процедуры» (СОП) – комплекс мероприятий, направленных

на обслуживание и ремонт компонентов ФА (Safonov, Parunov, Sinyagin, 2021). Разработанный VR-тренажёр предоставляет обучающемуся возможность для прохождения нескольких сценариев ремонта ФА. В процессе обучения пользователь помещается в виртуальную среду, в которой взаимодействует как с компонентами ФА, так и с инструментами, необходимыми для её обслуживания.

Сценарии ремонта конструктивных компонентов фонтанной арматуры в VR-тренажёре

Неисправность фланцевого соединения может иметь губительные последствия при промедлении операторов по добыче в связи с тем, что происходит изливание нефти непосредственно в открытое пространство, что является грубым нарушением экологических норм любого нефтегазодобывающего производства. Но и сама операция по замене фланцевого соединения скрывает за своей простотой высокие риски возникновения

аварии, а также при несоблюдении очередности действий может быть крайне травмоопасна. Помимо решения проблем с фланцевым соединением в тренажёре реализован сценарий замены неисправного манометра.

Таким образом, в тренажёре представлены три варианта поломки. В первом варианте сценария имеется неисправность двух фланцевых соединений на разных задвижках и одного манометра; в двух других вариантах сценариев предлагается произвести замену неисправного манометра и одной задвижки с проблемным соединением. Логика тренажёра предусматривает как очередную замену задвижки и манометра, так и одновременную, при этом этапы остаются одинаковыми по содержанию и меняются их последовательность.

Замена задвижки и манометра происходит по алгоритму, состоящему из 13 этапов, реализация алгоритма, где сломаны две задвижки, лишь увеличивает этапность на количество, затрачиваемое на замену задвижки. В связи с невозможностью программно реализовать абсолютно все этапы при работе студента с тренажером некоторые этапы должны быть проговорены устно.

Разберём сценарий, при котором происходит неисправность фланцевого соединения буферной задвижки и манометра на выкидной линии:

Этап 1. Проверить наличие необходимого для работы оборудования и убедиться в его исправности, аналогично произвести ревизию средств индивидуальной защиты: каска, перчатки и очки. Включить индивидуальный газоанализатор сероводорода до захода на кустовую площадку.

Этап 2. До работы со станцией управления электроцентробежного насоса необходимо проверить целостность заземления, после положительного заключения сообщить в цех добычи о начале проведения работ и повесить табличку о проведении технических работ, на панели станции управления нажать красную кнопку «СТОП (STOP)» и дождаться полной остановки скважинного насоса, после чего перевести рычаг силовых цепей в положение «0», согласно рис. 2 и 3.

Пользователю необходимо добраться до электрощитка и произвести ручную остановку добывающей скважины.

Этап 3. Дождаться опустошения трубного пространства ФА от скважинной продукции. Содержимое трубного пространства представлено на рис. 4.

Этап 4. В первую очередь требуется изолировать скважину от автоматической групповой замерной установки (АГЗУ), закрыв линейную задвижку на выкидной линии, представленную на рис. 5, это ис-



Рис. 2. Панель станции управления

Fig. 2. Control station panel



Рис. 3. Рычаг силовых цепей
Fig. 3. Lever of power circuits



Рис. 4. Демонстрация содержимого трубного пространства ФА
Fig. 4. Demonstration of the contents of the pipe space of fountain fittings

ключает приток скважинной продукции из общего стока АГЗУ в нашу сторону.

Также, согласно рис. 6 и 7, перекрываются центральная задвижка и внутренняя трубная задвижка.

Пользователю необходимо выкрутить до упора вентили на задвижках в указанной последовательности.

Этап 5. Требуется снизить давление из-за накопившегося попутного газа в манифольде до атмосферного, используя имеющийся вентиль на манометре, представленный на рис. 8, или на пробоотборнике, вентили при этом должны остаться открытыми. Человек при этом должен стоять строго перпендикулярно по отношению

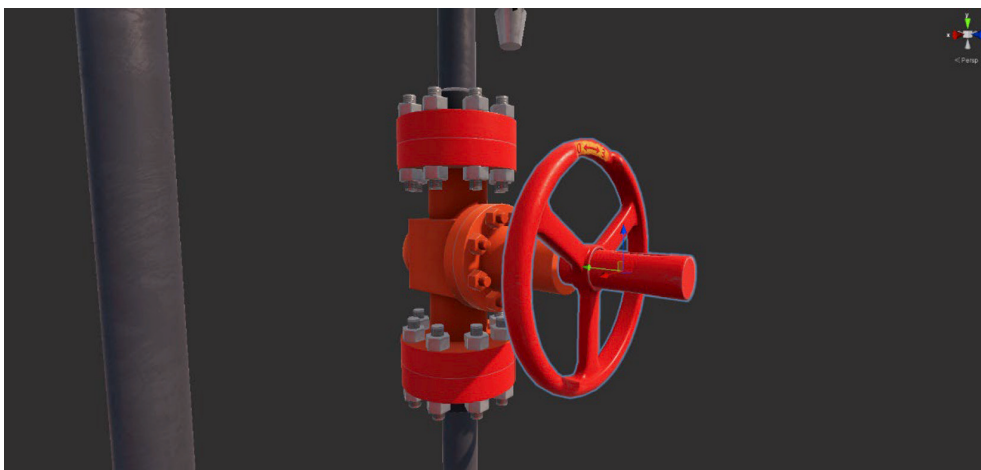


Рис. 5. Линейная задвижка на выкидной линии
Fig. 5. Linear valve on the switch line

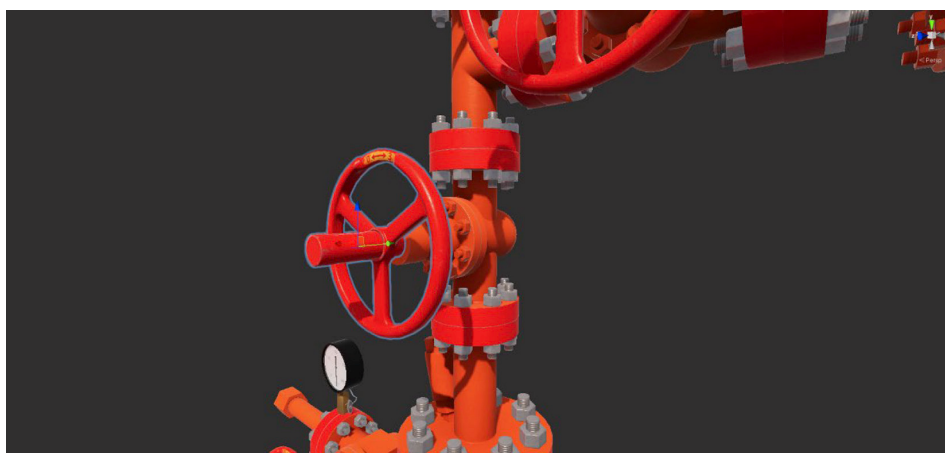


Рис. 6. Центральная задвижка
Fig. 6. Central gate valve

к траектории движения вентиля при их срыве.

Пользователю потребуется нажать на кран пробоотборника, чтобы стравить давление в ФА, стрелка манометра при этом должна принять положение со значением «0», если манометр исправлен.

Этап 6. Произвести демонтаж буферной задвижки и манометра на ней выкручиванием против часовой стрелки, используя универсальный разводной ключ, продемонстрированный на рис. 9. А также произвести демонтаж манометра на выкидной линии.

Пользователь должен поочередно выкрутить гайки со шпинделей на всех фланцевых соединениях задвижки и извлечь неисправный манометр на выкидной линии, всё убрать на стол.

Этап 7. Подготовить новую задвижку для установки, заменить прокладку на фланцевом соединении и произвести монтаж задвижки на ФА.

Пользователю необходимо взять со стола исправную задвижку и установить на ФА, закрутив все ранее открученные гайки на шпинделях.

Этап 8. Произвести монтаж исправного манометра.

Пользователь должен взять исправный манометр со стола и установить его на манифольд.

Этап 9. Изолировать трубное пространство от окружающей среды.

Пользователю требуется нажать на пробоотборник, чтобы закрыть вентиль на нем, а также проверить открыта или закрыта недавно установленная буферная задвижка и закрыть задвижку в случае положения «открыта».

Этап 10. Открыть все оставшиеся задвижки на ФА и выкидной линии.

Пользователю необходимо в правильном порядке раскрутить ранее закрученные вентили.

Этап 11. Необходимо убрать место проведения работ и отмыть ФА от скважинной продукции.

Этап 12. Запустить в работу электроцентробежный насос, громко сообщив, что включается насос, и убедившись, что рядом с ФА отсутствуют люди.

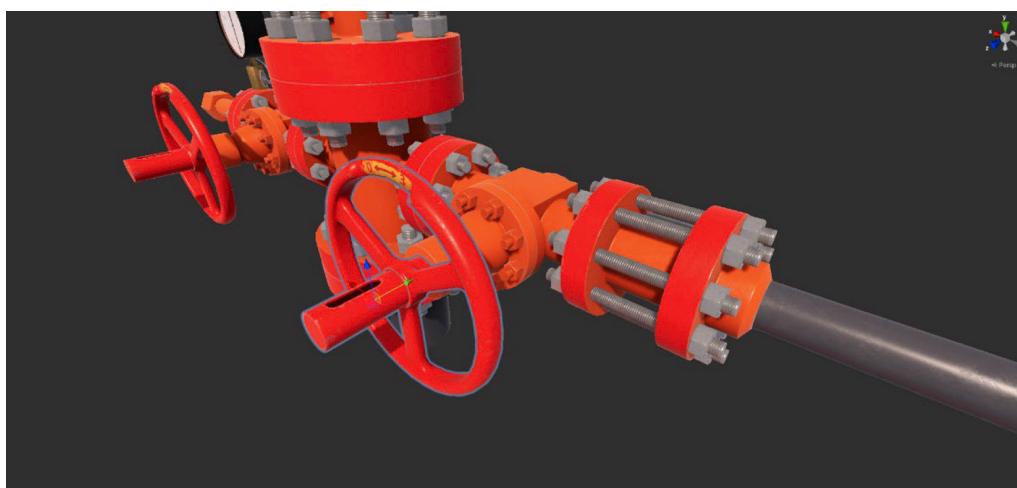


Рис. 7. Внутренняя трубная задвижка
Fig. 7. Internal pipe valve



Рис. 8. Манометр с вентилем для снижения давления
Fig. 8. Pressure gauge with pressure reducing valve



Рис. 9. Универсальный разводной ключ
Fig. 9. Universal adjustable wrench

Пользователю необходимо добраться до станции управления и перевести рычаг силовых цепей в положение «I», далее на панели управления нажать кнопку «ПУСК (START)».

Этап 13. Необходимо дождаться, когда скважинная жидкость доберется до устья, и проследить отсутствует ли утечка нефти на ФА, а также проверить показания нового манометра. Если все исправно, то снимается табличка о проведении технических работ.

Технологии разработки виртуальной среды

Обучающий тренажёр был разработан на базе кросс-платформенной среды разработки «Unity», поддерживающей платформы дополненной и виртуальной реальности. Виртуальная среда, с которой предстоит взаимодействовать пользователю, представляет собой сцену, сформированную из реалистичного природного окружения и ограниченной области обучения и перемещения, представленной на рис. 10, содержащей все необходимые интерактивные компоненты тренажёра.

Весь виртуальный контент, включая окружение и каждый элемент трени-

ровочной области, был спроектирован и смоделирован в профессиональном программном обеспечении для 3D-моделирования – Autodesk 3ds Max. Важной особенностью результата моделирования является значительная степень соответствия между габаритами виртуальных и реальных компонентов фонтанной арматуры. В качестве дополнительной проверки соответствия было проведено сравнение между масштабами разработанной модели и оцифрованной копией ключевых элементов фонтанной арматуры.

Создание текстур для разработанных 3D-моделей включало в себя использование следующего программного обеспечения: Marmoset Toolbag 4, Adobe Substance 3D Painter, Adobe Photoshop. Процесс текстурирования предусматривал разработку нескольких вариантов текстур элементов фонтанной арматуры в зависимости от этапов процесса обучения, пример отображения текстуры представлен на рис. 11. В процессе создания текстур были учтены реальные особенности покрытий и материалов объектов, которые также были отражены в покрытии и материалах объектов для большего погружения в процесс обучения.



Рис. 10. Виртуальная обучающая среда
Fig. 10. Virtual Learning Environment



Рис. 11. Демонстрация текстуры, учитывающей свойства реального покрытия объекта
Fig. 11. Demonstration of a texture that takes into account the properties of the real coating of the object

Такой подход к моделированию и текстурированию направлен на упрощение адаптации пользователя при переходе к работе в реальных условиях.

Система работы тренажёра была испытана с помощью очков виртуальной реальности Oculus Quest 2. Соответствующие контроллеры Oculus Touch служили устройствами ввода для взаимодействия в виртуальной среде. Во время обучения пользователь взаимодействует с интерак-

тивными элементами тренажёра с помощью двух виртуальных рук, отражающих движения собственных рук пользователя. Кроме того, когда пользователь использует триггеры контроллера, пальцы соответствующей виртуальной руки сгибаются, симулируя захватывание предметов, как показано на рис. 12.

Работа с тренажёром предусматривает предварительное обучение для успешной адаптации пользователя к виртуальной сре-



Рис. 12. Отображение виртуальных рук пользователя
 Fig. 12. Displaying the user's virtual hands

де. В процессе обучения пользователь знакомится с основами ориентирования в виртуальном пространстве и взаимодействует с интерактивными элементами тренажёра согласно инструкции. Обучающие материалы преподносятся пользователю в формате анимированных инструкций к контроллерам, с помощью которых осуществляется перемещение и управление виртуальными руками.

Заключение

Разработанное программное обеспечение позволяет пользователю быстро интегрироваться в виртуальную обучающую среду для формирования и подкрепления навыков, необходимых для осуществления ремонта и разбора фонтанной арматуры.

Соответствие размеров используемых 3D-моделей габаритам реальной фонтанной арматуры, достигнутое за счёт технологии фотограмметрии, является одной из ступеней на пути к наибольшему уровню погружения пользователя в процесс обучения. Кроме того, интенсивная работа над текстурированием 3D-моделей, адаптивная система подбора роста пользователя и обу-

чающие материалы для успешной работы с тренажёром позволяют обучающемуся не только быстро и эффективно интегрироваться в виртуальную среду, но и способствуют плавному переходу к эксплуатации реальных объектов нефтегазовой отрасли. При этом разработанные скрипты и сценарии, представляющие наиболее частые случаи неисправности фонтанной арматуры, позволяют взаимодействовать с конструктивными элементами установки на всех этапах ремонта.

Отмечая характерные достоинства разработанного тренажёра, важно указать на широкий потенциал для разработки новых и модификации существующих проектов в данной области. Так, например, на данном этапе разработки VR-тренажёр представлен в формате знакомства с конструкцией ФА и основами ремонта главных компонентов. На сегодняшний день такой тренажёр может быть использован как продвинутое решение для повышения эффективности теоретической части обучения. Наиболее важными техническими и методическими решениями для повышения эффективности тренажёра в бли-

жайшей перспективе являются интеграция в проект звукового сопровождения и работка системы обратной связи для пользователей.

References

Armatura fontannaia [Fountain fittings], 2013. Available at: <https://neftegaz.ru/tech-library/burovye--ustanovki-i-ikh-uzly/141913-armatura-fontannaya/> (accessed 7 December 2022).

Bajurov, A.E., Petrova O. A. Virtual'naia real'nost' v obrazovanii [Virtual reality in education]. In: *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики [Actual problems of aviation and cosmonautics]*, 2019, 3, 633–635.

Boud, A.C., Haniff, D.J., Baber, C., and Steiner, S.J. Virtual reality and augmented reality as a training tool for assembly tasks. In: *IEEE International Conference on Information Visualization*, 1999. DOI: 10.1109/IV.1999.781532.

Carter, M., Egliston, B. What are the risks of virtual reality data? Learning analytics, algorithmic bias and a fantasy of perfect data. In: *New media & society*, 2021. DOI: 10.1177/14614448211012794.

Elkhova, O.I. Illuzia prisutstvia v virtual'nom mire [The illusion of presence in the virtual world]. In: *Vestnik Bashkirskogo universiteta [Bulletin of Bashkir University]*, 2015, 20, 4, 1386–1390.

Five Companies that are Using VR for Training. 2021. Available at: <https://www.vrdirect.com/blog/vr-for-training-hr/five-companies-that-are-using-vr-for-training/> (accessed 7 December 2022).

Petrova N. P., Bondareva, G. A. Tsifrovizatsiia i tsifrovye tekhnologii v obrazovanii [Digitalization and digital technologies in education]. In: *Mir Nauki, Kul'tury, Obrazovaniya [The World of Science, Culture, Education]*, 2019, 5 (78), 353–355.

Safonov, E.I., Parunov, D.A., Sinyagin, A.D. Razrabotka trenazhera virtual'noi real'nosti zameny obratnogo klapana na fontannoi armature [Development of a virtual reality simulator replacing the check valve on Christmas tree]. In: *Vestnik Iugorskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Ugra State University]*, 2021, 4 (63), 71–83.