

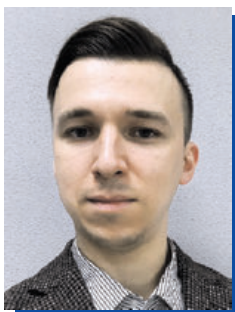
«VR: РАДИОГРАФИЯ» – НОВЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ



КОВШОВ
Евгений Евгеньевич
Д-р техн. наук, профессор,
начальник лаборатории



ДОЛГОВ
Никита Олегович
Директор НИКИМТ



КУВШИННИКОВ
Владимир Сергеевич
Канд. техн. наук,
главный специалист



КАЗАКОВ
Даниил Федорович
Инженер-электроник

АО «Научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии – Атомстрой», Москва, Россия

Статистика ведущих мировых производственно-технологических компаний свидетельствует о нарастающем тренде применения «технологий погружения» (VR-технологий), которые активно внедряются на всех этапах жизненного цикла продукции – от презентации концепций новых продуктов до поддержки полного производственного цикла и сервисно-технического обслуживания [1–3].

Атомная отрасль отличается высокими требованиями к качеству контроля всех без исключения энергетических объектов. Возникновение неисправностей и отказов на объектах атомной энергетики, вне всякого сомнения, может как прямо, так и косвенно привести к различного рода катастрофическим последствиям, а также колоссальным убыткам от последствий длительного простоя по причине неисправности на АЭС. Неудивительно, что специалисты неразрушающего контроля (НК), работающие с объектами атомной отрасли, придерживаются отдельно регламентированных норм,

правил проведения контроля и интерпретации его результатов, которые отличаются большей строгостью, например, по сравнению с требованиями, регламентированными Ростехнадзором.

В связи с этим наибольшую востребованность и распространение подобные технологии получают при обучении и проверке знаний инженерно-технического персонала и рабочих, непосредственно занятых на производстве, а также в его технологической подготовке при разработке сложных и ответственных операций, в том числе неразрушающего контроля. За счет способа подачи дидактического материала в среде виртуальной реальности, максимально приближающего обучаемого к производственной среде, удается сократить срок и существенно повысить качество практической подготовки специалистов [4].

Обобщенная последовательность действий пользователя при обучении неразрушающему контролю в виртуальной среде представлена в виде диаграммы на рис. 1.



Рис. 1. Последовательность действий пользователя при обучении в виртуальной среде

Успех проведения радиографического контроля (РК) зависит от многих факторов, среди которых: следование требованиям нормативно-технической документации, соблюдение техники безопасности, выбор параметров чувствительного фотоматериала, выбор схемы контроля, выбор рентгеновского аппарата (РА), расчет параметров экспозиции, выбор и размещение маркеров и индикаторов чувствительности и др.

Применение специализированного программно-аппаратного комплекса виртуальной реальности позволит специалистам по НК получить самостоятельный опыт проведения ключевых этапов РК с возможностью отслеживания результатов и получением оценки их действий. При этом удастся избежать угрозы здоровью, сократить расходы на организацию и поддержание лаборатории. Несколько комплектов позволят масштабировать и проводить процесс обучения в параллельном и сетевом режимах. Консультативная поддержка со стороны опытного преподавателя возможна как очно, так и удаленно, при этом преподаватель может наблюдать за действиями обучающихся и отслеживать результаты работы сразу многих учеников без необходимости перемещения между несколькими РГ-лабораториями [5].

При разработке симулятора радиографии для неразрушающего контроля изделий (их сварных соединений) и материалов выполнен целый комплекс междисциплинарных исследований с использованием инструментальных средств моделирования и технологий виртуальной реальности [6, 7].

В процессе выполнения исследований и программной разработки симулятора радиографии авторами решались инженерно-технические и экономические задачи, среди которых можно выделить основные:

- сокращение сроков и повышение качества обучения специалистов неразрушающего контроля, снижение издержек на технологическую подготовку неразрушающего контроля, организацию учебной практики и рисков, связанных с радиационной опасностью;
- моделирование и исследование процедур комплексирования и применимости методов искусственного интеллекта при создании и взаимодействии с цифровыми двойниками объектов с заданными свойствами;
- исследование логических и физических моделей представления и работы с большими данными при создании инструментальных средств симулятора радиографического контроля.

В качестве основных отличий разрабатываемого программного обеспечения виртуального симулятора для обучения радиографии от ближайших вероятно существующих прототипов и программно-аппаратных аналогов следует акцентировать внимание на следующих [8]:

- программная разработка, отвечающая основным трендам политики Российского государства в области высоких технологий и импортозамещения;
- доступность исходного программного кода для его модификации и авторского сопровождения без привлечения сторонних разработчиков;



Рис. 2. План работы в виртуальной лаборатории

- расширенная функциональность и эргономичность виртуальной образовательной среды;
- образовательные сценарии и программы проверки знаний, выполненные согласно требованиям ГОСТ Р и отраслевых нормативных документов;
- гибкая адаптация цифровых двойников образцов сварных соединений изделий и материалов согласно требованиям конечного потребителя;
- реалистичность объектов виртуальной среды, включая симуляцию работы рентгеновской установки, что обеспечивает комфорт взаимодействия со средой, качество обучения и проверки знаний;
- дистанционный доступ к среде обучения и проверки знаний на основе общепринятых сетевых протоколов;
- методы искусственного интеллекта, применяемые для формирования индивидуальных траек-

торий при обучении, проверке знаний и оценке результатов;

- документационное обеспечение результатов обучения и тестирования согласно требованиям нормативных документов.

Рассматриваемое программно-аппаратное решение включает в себя симулятор радиографии с набором различных образовательных сценариев, погружающий обучаемого в виртуальную среду и позволяющий динамически взаимодействовать со всеми объектами среды, в том числе на основе реализации математических и программно-алгоритмических моделей, программно-математических средств поддержки специалиста по неразрушающему контролю, в том числе и во время его технологической подготовки за счет дополнения формируемого изображения вспомогательной графической и/или фактографической информацией. Для этих целей исполь-



Рис. 3. Цифровые двойники объектов контроля, оснастки и документация

зуются специальные интерактивные элементы, содержащие дополнительную информацию в виде текстовых, графических и звуковых подсказок, доступных пользователю среды во время его сеанса взаимодействия с ней. Общий план работы в виртуальной лаборатории приведен на рис. 2.

Основные объекты и виртуальные сцены симулятора радиографии для обучения неразрушающему контролю представлены на рис. 3–8.

Реализация характеристической кривой носителя информации позволяет добиться реалистичных внешних данных и значений контролируемых параметров изображения в широком диапазоне настроек экспонирования (рис. 9). Удобство пользователя при контроле обеспечивается возможностью масштабирования носителя изображения. Симулятор радиографии предоставляет возможность выполнить панорамную съемку кольцевого шва, результат которой представлен на рис. 10.

Основываясь на текущих результатах эксплуатации, к ключевым преимуществам виртуального симулятора для обучения радиографии можно отнести следующие [8]:

- **экономическое:** сокращение сроков, стоимости обучения специалистов и затрат на владение виртуальной радиографической лабораторией. Так, к наиболее существенным расходам «физических» лабораторий, которые сможет сократить симулятор радиографии, относятся расходы на преподавательский состав, аренду специализированных помещений, приобретение расходных материалов и обслуживание технически сложного рентгеновского оборудования;
- **образовательное:** программно-аппаратные решения подобного рода позволяют увеличить охват потенциальной аудито-



Рис. 4. Цифровой двойник РГ-установки с аутентичным управлением

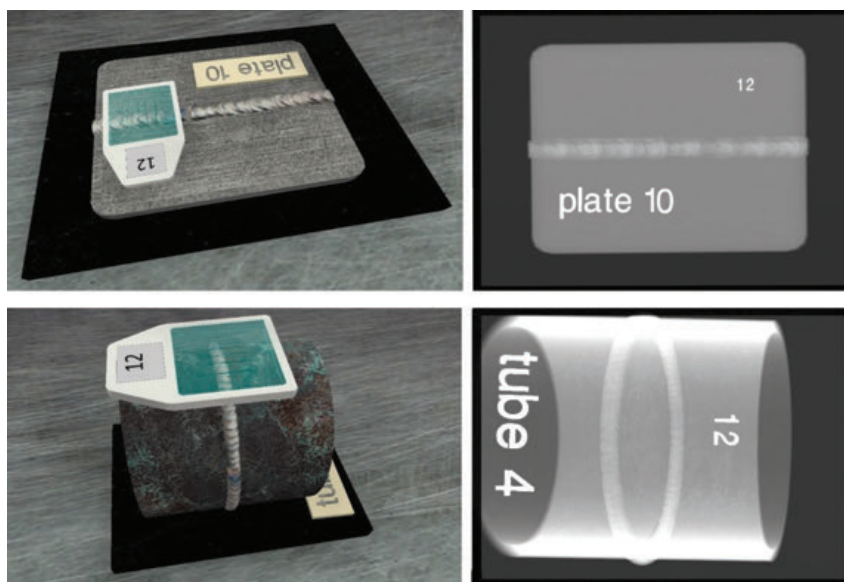


Рис. 5. Размещение цифровых двойников объекта, носителя изображения и другой оснастки



Рис. 6. Система индикации и оповещения для соблюдения техники безопасности

рии, при этом для каждого обучаемого сформировать индивидуальную образовательную траекторию. Важным преиму-

ществом становится проведение обучения в дистанционном формате, что положительно скажется в том числе и на

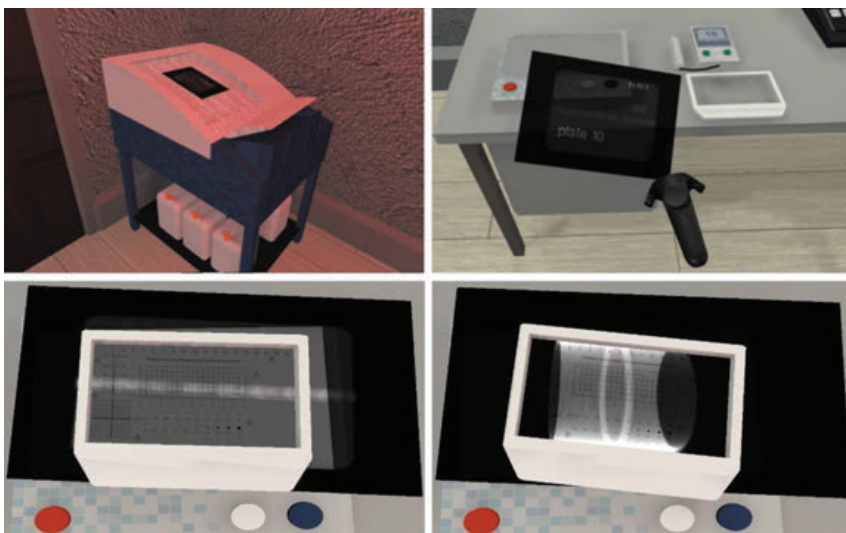


Рис. 7. Обучение корректной работе с пленочным носителем

экономии бюджета организации-заказчика обучения;

- **промышленное:** неуклонный рост потребности в квалифицированных специалистах по неразрушающему контролю для профессионального контроля, что неразрывно связано с непрерывным расширением географии, увеличением объемов и номенклатуры создания высокотехнологичных промышленных объектов, в том числе и за рубежом. Помимо непосредственного применения интеллектуального симулятора цифровой радиографии, исследования и разработки в этой сфере являются предпосылкой к диверсификации основных и формированию новых наукоемких бизнесов в ведущих отраслях промышленности на территории Российской Федерации;
- **экологическое:** сокращение негативного влияния ионизи-

рующего (рентгеновского) излучения при практическом обучении. Так, при взаимодействии с виртуальным симулятором радиографии не возникает каких-либо ограничений на время работы с ним, обучения и выполнения практических заданий в силу отсутствия вредных воздействий как на организм обучаемого, так и на окружающую среду в целом.

Рассматриваемые цифровые компьютерные технологии и решения на их основе востребованы в различных отраслях экономики и секторах промышленного производства, где широко применяются методы и виды неразрушающего контроля.

Поскольку процесс обучения происходит с каждым обучаемым в индивидуальном режиме, то в виртуальной среде осуществляется фиксация промежуточных и окончательных результатов в со-

ответствующем файловом хранилище данных в целях их последующего повторного использования для интеллектуализации процесса обучения и контроля знаний, а также для расширения спектра применимости программно-аппаратных решений виртуальной реальности, в том числе на основе сетевых протоколов и телекоммуникационных решений.

Программное решение «VR: РАДИОГРАФИЯ», полученное и протестированное на сегодняшний день, в целом позволяет судить о результатах комплексных научных исследований, а именно: автоматизации процедур формирования тестовых заданий, контроля знаний на основе применения математических моделей, методов машинного обучения и программных инструментальных средств; сокращении сроков обучения и увеличении числа подготовленных специалистов; снижении экологических и медико-биологических рисков за счет редуцирования требований к безопасности программно-аппаратного решения, упрощении организации процесса подготовки специалистов и контроля их знаний при применении симулятора радиографического контроля; наращивании функциональных возможностей и эволюционном развитии программно-аппаратного решения симулятора радиографии на основе применения унифицированного модульного подхода при использовании программных библиотек и программно-аппаратных интерфейсов.

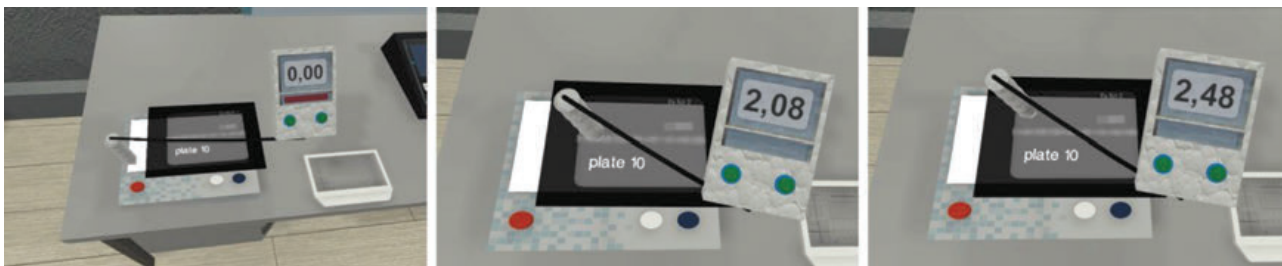


Рис. 8. Контроль качества снимка с негатоскопом и денситометром

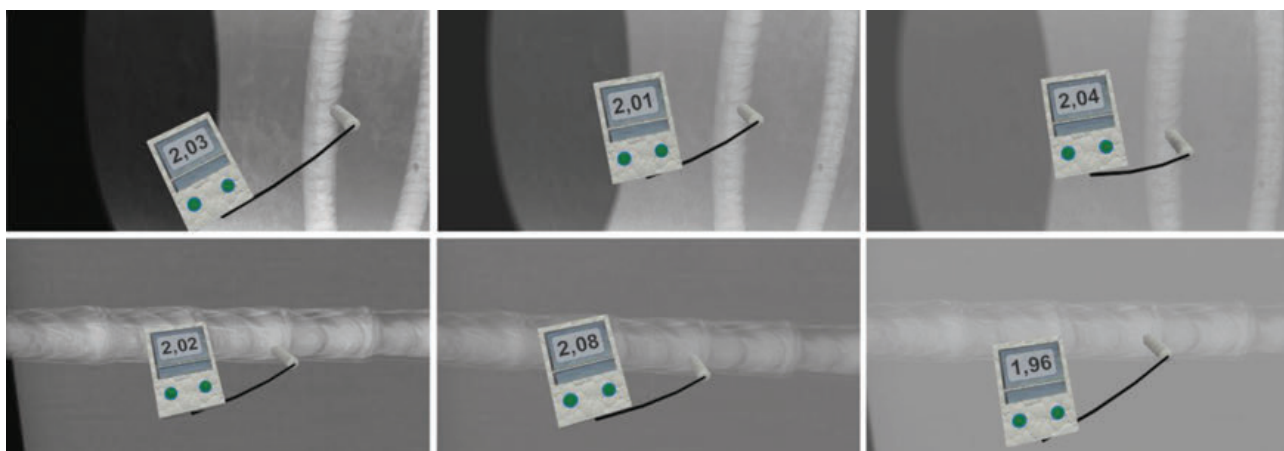


Рис. 9. Реализация характеристической кривой носителя, возможность работы с носителем в удобном масштабе

Библиографический список

1. Barteit S., Lanfermann L., Вдрнighausen T., et al. Augmented, mixed, and virtual reality-based head-mounted devices for medical education: systematic review // JMIR serious games. 2021. V. 9, No. 3. P. e29080.

2. Hamilton D., McKechnie J., Edgerton E., Wilson C. Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: a systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design // Journal of Computers in Education. 2021. V. 8, No. 1. P. 1–22.

3. Wang P., Wu P., Wang J., et al. A critical review of the use of virtual reality in construction engineering education and training // International journal of environmental research and public health. 2018. V. 15, No. 6. P. 1204.

4. Ковшов Е.Е., Кувшинников В.С., Казаков Д.Ф. Применение виртуальной реальности при разработке симулятора радиографии для обучения неразрушающему контролю // Контроль. Диагностика. 2021. Т. 24, № 7(277). С. 34–40.

5. Ковшов Е.Е., Кувшинников В.С. Виртуальная реальность как инструмент подготовки специалистов в области радиационного неразрушающего контроля // Физический журнал. Сер. конференций. 2021. С. 032007.

6. Ковшов Е.Е., Кувшинников В.С., Казаков Д.Ф. Формирование рентгенографического изображения объекта неразрушающего контроля в среде виртуальной реальности // Контроль. Диагностика. 2021. Т. 24, № 8. С. 14–22.

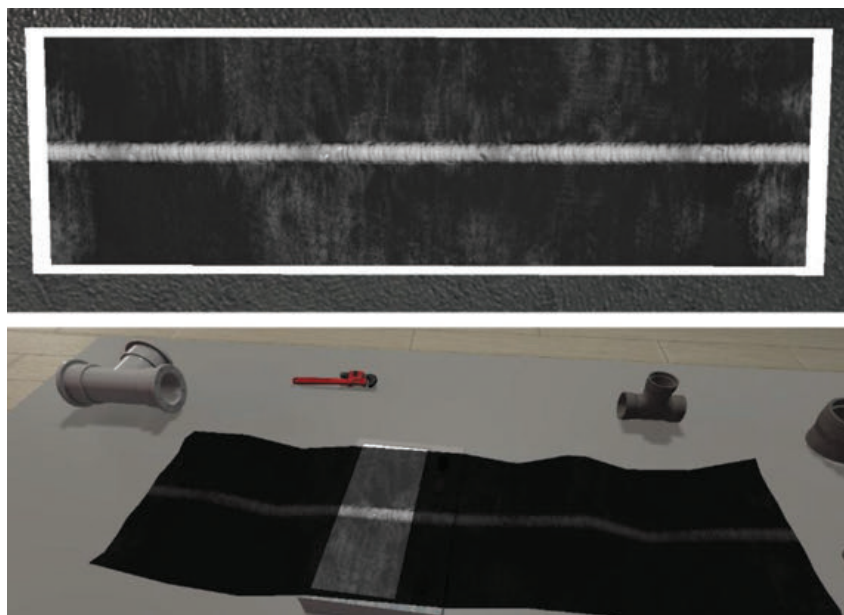


Рис. 10. Результат панорамной съемки кольцевого шва

7. Ковшов Е.Е., Кувшинников В.С. Симуляция физических свойств материала объекта контроля в VR-тренажере промышленной радиографии // Контроль. Диагностика. 2023. Т. 26, № 2. С. 4–13.

8. Ковшов Е.Е., Кувшинников В.С. Практические аспекты использования VR-технологий для обучения специалистов по неразрушающему контролю в промышленности // 2-я Международная конференция 2022 года по технологическому усовершенствованному обучению в высшем образовании (TELE). Липецк, 26–27 мая 2022 г. Липецк, 2022. С. 254–257.