

УДК 004.946:37.02:620.179.152

## **ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО РАДИОГРАФИЧЕСКОМУ МЕТОДУ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

***Е. Е. КОВШОВ, В. С. КУВШИННИКОВ***

АО «НИКИМТ – Атомстрой» (Госкорпорация «Росатом»)

Москва, Россия

UDC 004.946:37.02:620.179.152

## **APPLICATION OF MODERN COMPUTER TECHNOLOGIES IN TRAINING OF RADIOGRAPHIC METHOD OF NON-DESTRUCTIVE TESTING SPECIALISTS**

***E. E. KOVSHOV, V. S. KUVSHINNIKOV***

**Аннотация.** Затрагивается проблема практического применения программных решений на основе технологии виртуальной реальности при подготовке, переподготовке и повышении квалификации отраслевых специалистов по неразрушающему контролю. Представлен комплексный мультикомпонентный подход к созданию обучающей среды. Рассмотрены основные составляющие, их цели и задачи. Приведены структура курса и иллюстрации тренировочного процесса в виртуальной среде. Перечислены основные направления развития и масштабирования решения.

**Ключевые слова:** электронное обучение, виртуальная реальность, цифровые и информационные технологии, программный симулятор, рентгеновское изображение.

**Abstract.** The article concerns the application of virtual reality software solutions in nondestructive testing industry specialists training, retraining and advanced training. A complex multicomponent method to develop a training environment is presented. The key elements, their objectives and goals are reviewed. The course structure and examples of the training process in a virtual environment are provided. The main trends of development and scaling of the solution are outlined.

**Keywords:** virtual reality, e-learning, digital and information technologies, x-ray image, software simulator.

**Введение.** В настоящее время вычислительная техника надёжно зарекомендовала себя как полезный инструмент в образовании. Мировая практика показывает, что применение информационных технологий актуально в обучении персонала как в профессиях, связанных с общением с людьми [1], так и в профессиях, требующих выполнения монотонных операций [2] и связанных с умным производством [3]. Цифровые тренажеры на основе виртуальной и дополненной реальности позволяют расширить перечень решаемых при обучении задач и качество усвоения материала, задействуя зрительную, слуховую (аудиальную) и двигательную (моторную) память. Таким образом, просматривается потенциал применения VR- и AR-технологий в программе подготовки технических специалистов для специальностей, сопряженных с опасностью и высокими требованиями к профессионализму сотрудников.

**Обучение неразрушающему контролю.** Неразрушающий контроль (НК) играет важную роль в современном промышленном комплексе. В настоящий момент технологии неразрушающего контроля активно модернизируются и обновляются в рамках концепции NDT 4.0 [4]. Совершенствование технического оснащения специалистов не может происходить отдельно от усовершенствований в программах подготовки и переподготовки. Ранее выделен целый ряд недостатков широко распространённого аудиторного метода обучения НК [5]. В ходе обучения и контроля знаний, как правило, используются выполненные в материале образцы и действующее оборудование.

Радиационный контроль (РК) – один из самых распространённых видов неразрушающего контроля в атомной энергетике. Атомная отрасль сохраняет высокий уровень потребности в специалистах РК, но создание, оснащение, лицензирование и поддержание РГ-лаборатории – сложный и дорогостоящий процесс. Взамен традиционному обучению предлагается комплексное решение, составляющее цифровую образовательную среду или DEE (Digital Educational Environment) [6]. DEE должна включать как учебные программы, методические материалы и теоретические занятия в рамках платформы LMS (Learning Management System), так и использование тренажеров виртуальной реальности для наработки и укрепления ряда практических навыков и знаний. К настоящему моменту на рынке существует большой ряд конкурентоспособных LMS-платформ, пригодных для обучения как гуманитарным, так и техническим дисциплинам [7]. Многие организации стремятся разработать собственную цифровую образовательную среду, но это увеличивает расходы и негативно сказывается на качестве результата, а также приводит к ограниченности доступных возможностей, предлагаемых индустрией e-learning [8].

**Теоретическая часть.** Как упоминалось ранее, важную часть цифровой образовательной среды, предназначенной для обучения, переподготовки и повышения квалификации специалистов по неразрушающему контролю, составляет LMS-платформа. Среди её задач – обеспечение учащихся и преподавателей возможностью удалённого круглосуточного доступа к материалам, занятиям и сервисам. Цифровая трансформация образовательного процесса требует переработки учебных планов и программ. В ходе исследования, проведённого коллективом специалистов, разработаны соответствующие методические материалы. В соответствии с разработанным планом занятий, при подготовке к аттестации по РГ, десять лекций из двадцати охватывают материал, достаточный для успешной сдачи теоретического экзамена. Из оставшихся десяти лекций, посвященных практике, семь включают работу с VR-тренажёром: ознакомление с техникой, демонстрацию объектов контроля и вспомогательного инвентаря, самостоятельное выполнение тренировочных заданий.

**Практическая часть.** Одной из задач при разработке тренажёра была задача создания возможности с помощью сравнительно недорогого оборудования проводить местную практику в локально оборудованном помещении. При этом в полной мере могут быть оценены такие важные пункты, как: соблюдение корректной и безопасной последовательности действий при выполнении контроля; корректный выбор индикаторов и маркеров; верный выбор схемы

контроля объекта; корректное размещение и позиционирование как объекта контроля, так и РГ-аппарата; соблюдение требований правил безопасности при работе с излучателями ионизирующего излучения; контроль соблюдения требований к срокам поверки оборудования; другие пункты, влияющие на эффективность и безопасность труда, а также успешное прохождение аттестации.

Практическое занятие в виртуальной лаборатории проходит в несколько этапов. Пример структуры занятия приведён на рис. 1.

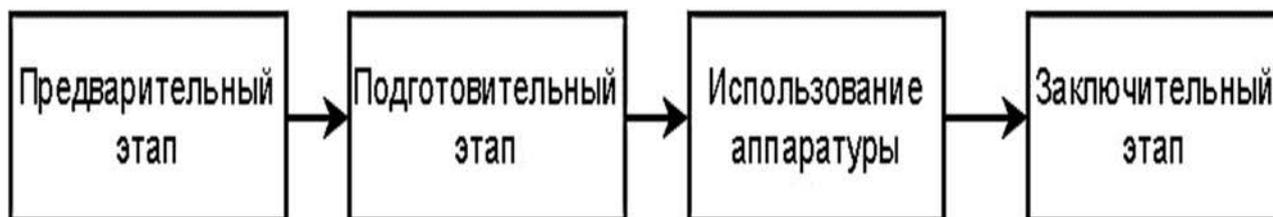


Рис. 1. Этапы практического занятия

На предварительном этапе составляется новая или изучается ранее составленная технологическая карта, осуществляется выбор образца, РГ-аппарата, схемы контроля объекта (рис. 2) [5].



Рис. 2. Выбор контролируемого образца

Подготовительный этап включает определение параметров экспозиции, среди которых напряжение, ток анода и продолжительность экспозиции. Также вручную (с задействованием двигательной памяти) проводится размещение виртуального объекта контроля, маркеров и индикаторов, настройка штатива РГ-аппарата (рис. 3) [5]. В ходе подготовительного этапа обучаемый демонстрирует свои знания теории и практики обращения с документацией по контролируемому объекту и РГ-аппарату, умение подобрать сочетание параметров и всецело настроить экспозицию в соответствии со схемой контроля.

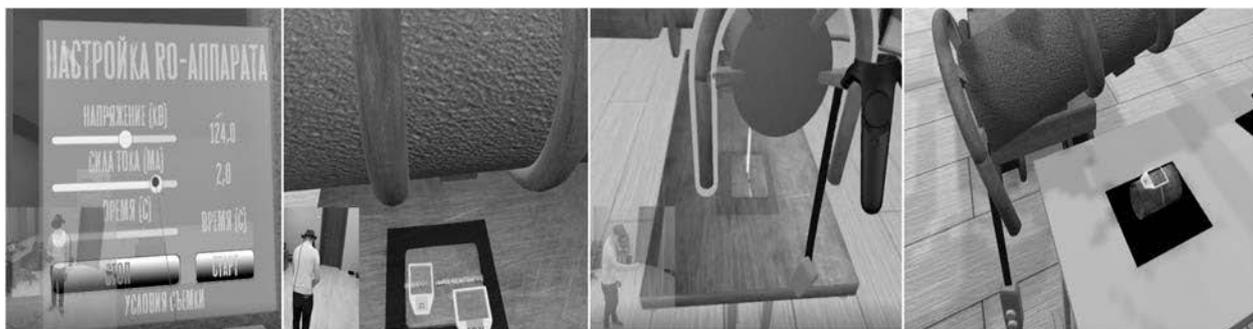


Рис. 3. Настройка экспозиции

В ходе следующего этапа проводится экспозиция, а также выбирается режим обработки плёнки в случае её применения. При этом проверяется соблюдение техники безопасности при работе с опасными объектами (рис. 4) [9].



Рис. 4. Индикаторы соблюдения требований безопасности

На заключительном этапе проверяется качество снимка с применением негатоскопа и денситометра, проводится расшифровка результатов. При контроле качества снимка особое внимание уделяется контрастности полученного изображения, показателям оптической плотности на участках расчётной контролируемой толщины образца, а также общей различающей способности полученного снимка. Ошибка в составлении технологической карты, выборе схемы контроля или в настройке параметров экспозиции проявляется на данном этапе.

Для того чтобы ученик получил представление о последствиях распространённых ошибок, VR-тренажёр оснащён функцией симуляции реалистичных радиографических снимков (рис. 5).

Формирование изображения производится на основе физически достоверных закономерностей средствами графического движка с использованием программ-шейдеров. В результате поэтапной обработки вершин и фрагментов изображения осуществляется оценка интенсивности прошедшего излучения по формуле

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu\delta},$$

где  $I$ ,  $I_0$  – выходная и начальная интенсивности РГ-излучения;  $e$  – число Непера;  $\mu$  – линейный коэффициент поглощения материала;  $\delta$  – толщина материала [9].

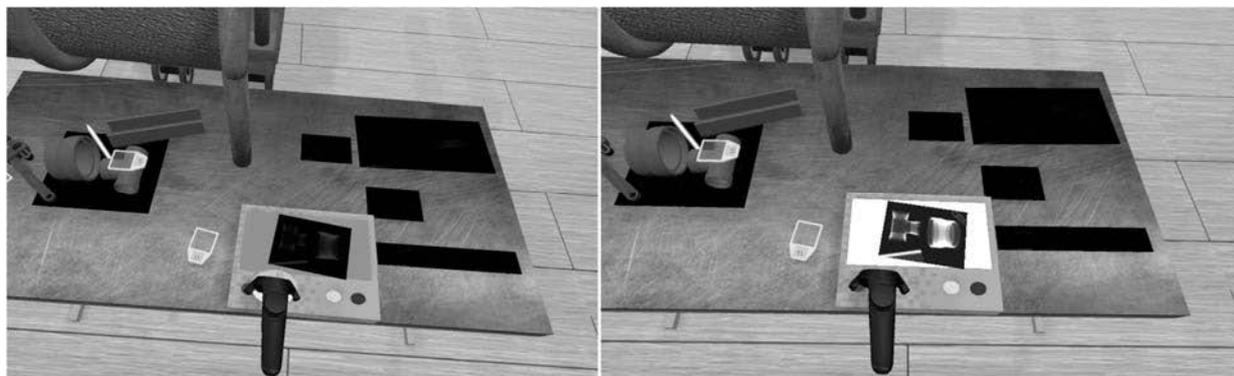


Рис. 5. Симуляция получения радиографического изображения

Доза, поглощенная чувствительными зернами пленки или пикселями цифрового плоскочувствительного детектора, рассчитывается с использованием ранее рассчитанной интенсивности:

$$E = I \cdot t \cdot F_N^2 / F^2 ,$$

где  $t$  – продолжительность экспозиции;  $F_N$  – номинальное фокусное расстояние;  $F$  – фактическое фокусное расстояние [9].

По оценочной поглощённой дозе на участке носителя изображения определяется яркость для цифровых плоскочувствительных детекторов или величина полученной оптической плотности для плёнки:

$$D = k / (1 + e^{-\lg(E) \cdot a}) + b ,$$

где  $D$  – оптическая плотность;  $k$  – коэффициент поглощения плёнки;  $E$  – уточнённая экспозиция;  $a$  – коэффициент контрастности плёнки;  $b$  – коэффициент чувствительности плёнки [9].

Благодаря используемой технологии, это позволяет предоставить студентам в первом приближении правдоподобный опыт проверки качества снимков, осуществляемой путем оценки различимости изображений проволочных (рис. 6) или канавочных индикаторов чувствительности.

На рис. 6 показано влияние настроек РГ-аппарата на качество получаемого изображения. Представлены образцы стыковых сварных соединений двух типов: плоские и трубные. Напряжение, анодный ток и длительность экспозиции устанавливаются в соответствии с номограммой и параметрами технологической карты аппарата для следующих случаев: рекомендуемое напряжение (см. рис. 6, а), нижний предел напряжения (см. рис. 6, б), верхний предел напряжения (см. рис. 6, в).

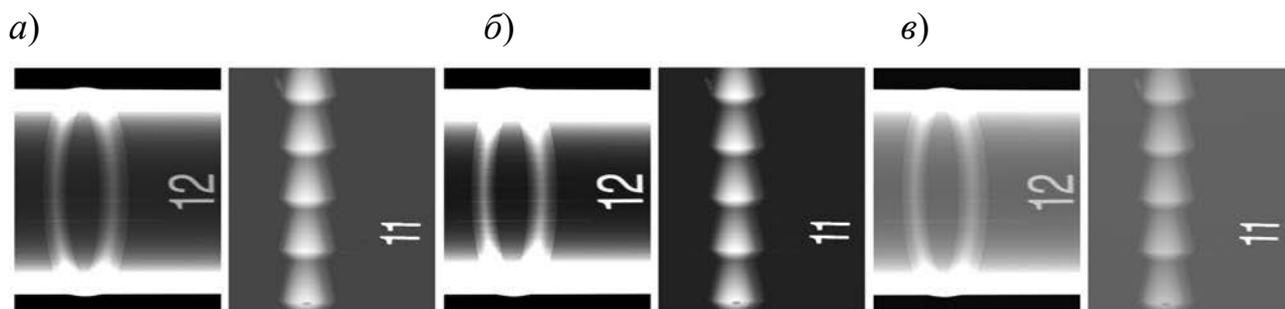


Рис. 6. Смоделированный радиографический снимок с проволочными индикаторами чувствительности

**Заключение.** Совокупность цифровых средств удалённого и виртуального обучения позволят сократить временные и материальные затраты на обучение и переобучение специалистов, значительно снизить радиационную опасность на ранних этапах практических занятий, упростить организацию учебных и тренировочных классов. Вышеперечисленное позволит повысить средний уровень подготовки специалистов и обеспечить промышленность достаточным количеством кадров в условиях наращивания объёмом заказов. Практическая полезность разработки цифровой образовательной среды раскрывается благодаря переносу и масштабированию полученного решения на другие виды и методы неразрушающего контроля.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Brown, K.** Innovation in the Learning Management System (LMS): Design Elements for Retail Industry Training / K. Brown // Research Anthology on Business and Technical Education in the Information Era. – IGI Global, 2021. – P. 375–402.
2. E-learning for a Boring Process at an Aerospace Industry Company / D. Dindana [et al.] // 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA). – IEEE, 2020. – P. 256–260.
3. E-learning and industry 4.0: A chatbot for training employees / F. Clarizia [et al.] // Proceedings of Fifth International Congress on Information and Communication Technology. – Springer, Singapore, 2021. – P. 445–453.
4. **Saboonchi, H.** Advancements in radiographic evaluation through the migration into NDE 4.0 / H. Saboonchi, D. Blanchette, K. Hayes // Journal of nondestructive evaluation. – 2021. – Vol. 40, № 1. – P. 1–12.
5. **Kovshov, E. E.** Virtual reality as a tool for training specialists in the field of radiation non-destructive testing / E. E. Kovshov, V. S. Kuvshinnikov // Journal of Physics: Conference Series, Krasnoyarsk. – 2021. – P. 32007.
6. Способ обучения неразрушающему контролю: пат. ВУ 2767087 / Е. Е. Ковшов, Д. Ф. Казаков, В. С. Кувшинников. – Оpubл. 16.03.2022.
7. **Исаева, Е. С.** Современные LMS-платформы дистанционного обучения: анализ и сравнение / Е. С. Исаева // Педагогика. Вопросы теории и практики. – 2021. – Т. 6, № 6. – С. 1045–1050.
8. **Aleksandrova, L. A.** Digital Learning Platform Services / L. A. Aleksandrova, E. R. Galimov // Computer tools in education. – 2019. – № 1. – P. 79–87.
9. **Ковшов, Е. Е.** Формирование рентгеновского изображения объекта неразрушающего контроля в среде виртуальной реальности / Е. Е. Ковшов, В. С. Кувшинников, Д. Ф. Казаков // Контроль. Диагностика. – 2021. – Т. 24, № 8 (278). – С. 14–22.