

### Синтез технологий виртуальной реальности и компьютерного зрения в симуляторе промышленной радиографии

В. Д. Корчагин<sup>1</sup> , В. С. Кувшинников<sup>2</sup>, Е. Е. Ковшов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева  
Миусская пл., д. 9/1, г. Москва 125047, Российская Федерация

<sup>2</sup> Научно-исследовательский и конструкторский институт монтажной технологии – Атомстрой  
Алтуфьевское ш., д. 43/2, г. Москва 127410, Российская Федерация

✉ e-mail: vladia58@mail.ru

#### Резюме

**Цель исследования.** В настоящее время цифровизация производства рассматривается как важнейший аспект технологического роста для повышения конкурентоспособности предприятий. Предложен инновационный подход, объединяющий технологии виртуальной реальности и компьютерного зрения в единый инструмент, призванный совершенствовать качество практико-ориентированного обучения в сфере промышленной радиографии. В рамках статьи проведено исследование эффективных моделей искусственных нейронных сетей в приложении к задаче детекции дефектных участков сварных соединений металла на радиографических изображениях. Проведен детальный анализ архитектуры YOLOv8 в отношении обнаружения мелкоразмерных дефектов. Описан метод синтеза технологий виртуальной реальности и компьютерного зрения в едином образовательном инструменте промышленной радиографии.

**Методы.** В работе использовались методы эмпирического исследования, системного анализа и синтеза смежных информационных технологий.

**Результаты.** В результате эмпирического исследования была выявлена ограниченная эффективность модели YOLOv10 применительно к обобщению признаков объектов малой размерности и низкой контрастности. YOLOv8 показала более практико-применимые результаты и большую стабильность при обобщении контурной составляющей дефектов. В процессе системного анализа архитектуры YOLOv8 была выявлена потеря пространственной информации при использовании последовательных сверточных операций, предшествующих повышающей дискретизации. Выполнена модификация базовой архитектуры YOLOv8 с целью улучшения обобщающей способности дефектов малой размерности и низкой контрастности. Представлена методика синтеза технологий виртуальной реальности и компьютерного зрения в форме интеллектуального ассистента для интеллектуализации процесса неразрушающего контроля.

**Заключение.** Интеграция вышеописанного метода синтеза в единый программный продукт позволит повысить качество подготовки специалистов и открыть доступ к инновационным методам совершенствования профессиональных навыков на каждом этапе профессиональной карьеры.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность; цифровые и информационные технологии; компьютерное зрение; программный симулятор; рентгеновское изображение.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

**Для цитирования:** Корчагин В. Д., Кувшинников В. С., Ковшов Е. Е. Синтез технологий виртуальной реальности и компьютерного зрения в симуляторе промышленной радиографии // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 4. С. 98–115. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-14-4-98-115>

Поступила в редакцию 14.10.2024

Подписана в печать 12.11.2024

Опубликована 27.09.2024

## Synthesis of virtual reality and computer vision technologies in industrial radiography simulator

Valerii D. Korchagin<sup>1</sup> ✉, Vladimir S. Kuvshinnikov<sup>2</sup>, Evgeny E. Kovshov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia  
9/1 Miusskaya sq., Moscow 125047, Russian Federation

<sup>2</sup> Joint Stock Company Research and Design Institute of Installation Technology – Atomstroy  
43/2 Altufievskoe highway, Moscow 127410, Russian Federation

✉ e-mail: valerak249@gmail.com

### Abstract

**Purpose of research.** Nowadays, the digitalization of production is considered as the most important aspect of technological growth to improve the competitiveness of enterprises. An innovative approach combining virtual reality and computer vision technologies into a single tool designed to improve the quality of practice-oriented training in the field of industrial radiography is proposed. Within the framework of the article the research of the most effective models of artificial neural networks in application to the task of detection of defective areas of welded metal joints on radiographic images is carried out. A detailed analysis of the YOLOv8 architecture with respect to the detection of small-sized defects is carried out. A method for synthesizing virtual reality and computer vision technologies in a single educational tool for industrial radiography is described.

**Methods.** Methods of empirical research, system analysis and synthesis of related information technologies were used in this work.

**Results.** The empirical study revealed the limited effectiveness of the YOLOv10 model as applied to the generalization of features of objects of small dimensionality and low contrast. YOLOv8 showed more practical results and greater stability when generalizing the contour component of defects. In the process of system analysis of YOLOv8 architecture the loss of spatial information when using sequential convolutional operations preceding upsampling was revealed. Modification of the basic YOLOv8 architecture was performed in order to improve the generalization ability of low-dimensional and low-contrast defects. The methodology of synthesis of virtual reality and computer vision technologies in the form of an intelligent assistant for intellectualization of nondestructive testing process is presented.

**Conclusion.** The integration of the above synthesis method into a single software product will improve the quality of specialist training and open access to innovative methods of improving professional skills at every stage of a professional career.

**Keywords:** virtual reality; digital and information technologies; computer vision; x-ray image; software simulator.

**Conflict of interest:** The authors declares no conflict of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Korchagin V.D., Kuvshinnikov V.S., Kovshov E.E. Synthesis of virtual reality and computer vision technologies in industrial radiography simulator. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering.* 2024;14(4):98–115. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-4-98-115>

Received 14.10.2024

Accepted 12.11.2024

Published 27.09.2024

\*\*\*

## Введение

В последние годы наблюдается стремительный рост интереса к развитию и внедрению технологий компьютерного зрения (CV) [1] и виртуальной реальности (VR) в различных сферах человеческой деятельности [2]. О данном факте свидетельствует увеличение за последние годы числа публикаций [3], посвященных исследованию данной области научно-практических знаний в изданиях, индексируемых в наукометрических базах данных [4]. На примере мировой практики видно, что интеграция современных информационных технологий (IT) в образовательный процесс [5] становится актуальным и востребованным подходом, который позволяет организациям повысить конкурентоспособность независимо от направления основной деятельности [6]. Многообразие подходов и возможностей, доступных при цифровизации образования [7], значительно расширяет спектр решаемых образовательных задач и способствует более качественному усвоению материала за счет углубления практико-ориентированной составляющей учебных программ.

VR-технологии открывают двери в мир интерактивных симуляций для проведения опасных или дорогостоящих

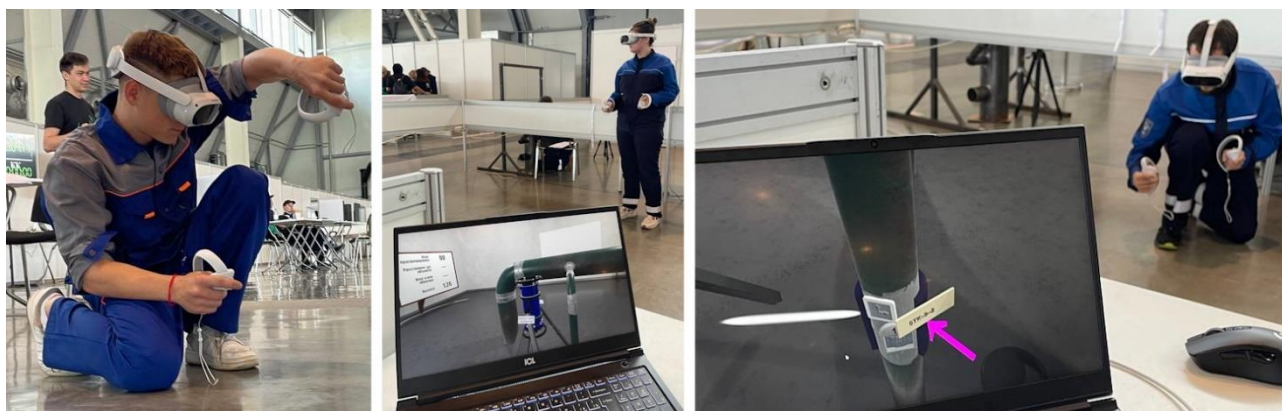
экспериментов, предоставляя возможность использования цифровых двойников вместо труднодоступного оборудования. Виртуальные лаборатории предлагают приближенный к реальному опыт взаимодействия с объектом исследования, позволяют проводить эксперименты и совершать ошибки без риска порчи ценного оборудования, потери дорогостоящих материалов или получения производственных травм. Безопасный первичный опыт в интерактивной форме и с обратной связью незаменим в обучении военным профессиям, техническим специальностям, сопряженным с работой на опасных объектах, в освоении как новых медицинских манипуляций, так и ранее изученных при условии внешних ограничений или с новым оборудованием. Более того, для многих применение VR становится катализатором активного обучения и мотивации: студенты, погруженные в виртуальное пространство, проявляют живой интерес к материалу, что содействует более глубокому усвоению знаний [8]. Например, виртуальные экскурсии по историческим памятникам и научным лабораториям делают образовательный процесс увлекательным и насыщенным.

В свою очередь, CV-технологии неразрывно связаны с искусственными

нейронными сетями (ИНС), являющимися одним из самых востребованных направлений исследований на сегодняшний день. Одной из ключевых задач CV является обработка и анализ визуальной информации, что способствует автоматизации ряда процессов, от распознавания лиц до идентификации объектов на изображениях и видео. Интеллектуальные системы, основанные на методах глубокого обучения, становятся основой для решения этих задач, обеспечивая высокую точность и скорость обработки данных. Они способны обучаться на больших объемах информации, выявляя скрытые признаки и закономерности, а также выполняя классификацию данных, что, в свою очередь, способствует улучшению качества процесса принятия решений [9]. Современные CV-приложения охватывают широкий спектр областей: от медицины, где ИНС способствуют диагностике заболеваний на основе медицинских изображений, до автономных транспортных средств, способных распознавать дорожные знаки, пешеходов и различные объекты на снимках местности.

Таким образом, существует потенциал для синтеза VR- и CV-технологий в программах профессиональной подготовки и переподготовки технических специалистов, работающих в сферах, сопряженных с высокой степенью риска и строгими требованиями к профессиональным компетенциям.

Неразрушающий контроль (НК) занимает ключевую роль в современном промышленном комплексе. На фоне роста требований к повышению качества материалов, увеличения объемов производства и модернизации технологий НК в рамках концепции NDT 4.0 [10] совершенствование программ профессиональной подготовки с помощью информационных технологий становится насущной задачей, требующей сочетания высокого качества и гибкости в создании учебных методических и практических материалов [11]. На рисунке 1 представлены сцены применения виртуальной радиографической лаборатории в рамках конкурса профессионального мастерства.



**Рис. 1.** Симулятор промышленной радиографии на конкурсе профессионального мастерства дефектоскопистов

**Fig. 1.** Simulator of industrial radiography at the professional skills competition for defectoscopists

В статье рассматривается метод синтеза VR- и CV-технологий в едином комплексном инструменте для подготовки специалистов по НК к практическим задачам в области промышленной радиографии. Описывается порядок взаимодействия студентов с виртуальным окружением и интеллектуальным цифровым ассистентом при симуляции контроля сварных соединений.

### Материалы и методы

Сварка – это процесс получения неразъемных соединений материалов, который требует высокой технической и технологической точности. От качества сварного соединения напрямую зависят надежность и срок безотказной службы всего изделия. Контроль качества сварных соединений включает визуальный и измерительный анализ, ультразвуковую и рентгеновскую дефектоскопию, а также иные методы, позволяющие выявить критические недостатки соединений конструкции на ранних стадиях производства и эксплуатации. Низкое качество контроля сварных соединений может привести к значительным экономическим потерям вследствие простоев и ущерба, вызванных авариями, а также риску возникновения угрозы для жизни и здоровья людей.

Контроль сварных соединений является важным элементом в процессе сертификации и получения разрешительных документов для эксплуатации сооружений. Соблюдение международных норм и стандартов при контроле

сварных соединений упрощает компаниям выход на зарубежные рынки и повышает конкурентоспособность продукции. Высокий уровень подготовки специалистов по НК помогает гарантировать соответствие производимых изделий установленным стандартам качества, что особенно актуально в строительстве, кораблестроении, самолетостроении, ракетостроении, тяжелом машиностроении, в энергетической и транспортной отраслях. Таким образом, организация комплекса мер по управлению старением и отслеживанию жизненного цикла изделий, включающего плановый контроль сварных соединений в установленном объеме, является необходимым условием поддержания высокого уровня безопасности, надежности и долговечности продукции в различных сферах промышленности.

Многие традиционно применяемые методы неразрушающего контроля [12] включают этап визуального представления данных, содержащих информацию о структурной целостности исследуемого объекта, для удобства расшифровки и анализа человеком. Специалист исследует полихроматическое растровое изображение с применением цифровых инструментов измерения качественных характеристик объекта для выявления участков, не соответствующих установленным нормам и требованиям нормативной документации. Процесс анализа результатов контроля требует от специалиста поддержания высокого уровня концентрации внимания. В силу



монотонности и повторяемости операций процедура расшифровки изображений является предпочтительной целью для исследований в области автоматизации и интеллектуализации с помощью современных ассистивных компьютерных технологий.

В качестве первого компонента синтеза выступает VR-симулятор [13], предназначенный для обучения специалистов в области промышленной радиографии. Симулятор содержит цифровую симуляцию радиографической лаборатории, цифровые двойники объектов контроля, оснастки и детекторов, объединенных в единую систему генерации реалистичных цифровых двойников

радиографических изображений с помощью программ-шейдеров. Такой подход предоставляет широкие интерактивные возможности для настройки параметров экспозиции, измерительного оборудования, контроля соблюдения правил безопасности и соответствия выполняемых диагностических процедур требованиям нормативно-технической документации.

Вторым компонентом синтеза является ИНС на базе авторской модификации архитектурной модели YOLO. Модификация направлена на повышение точности и сокращение вычислительной сложности инференса. Иллюстрации базовой архитектуры ИНС и авторской модификации представлены ниже (рис. 2, 3).

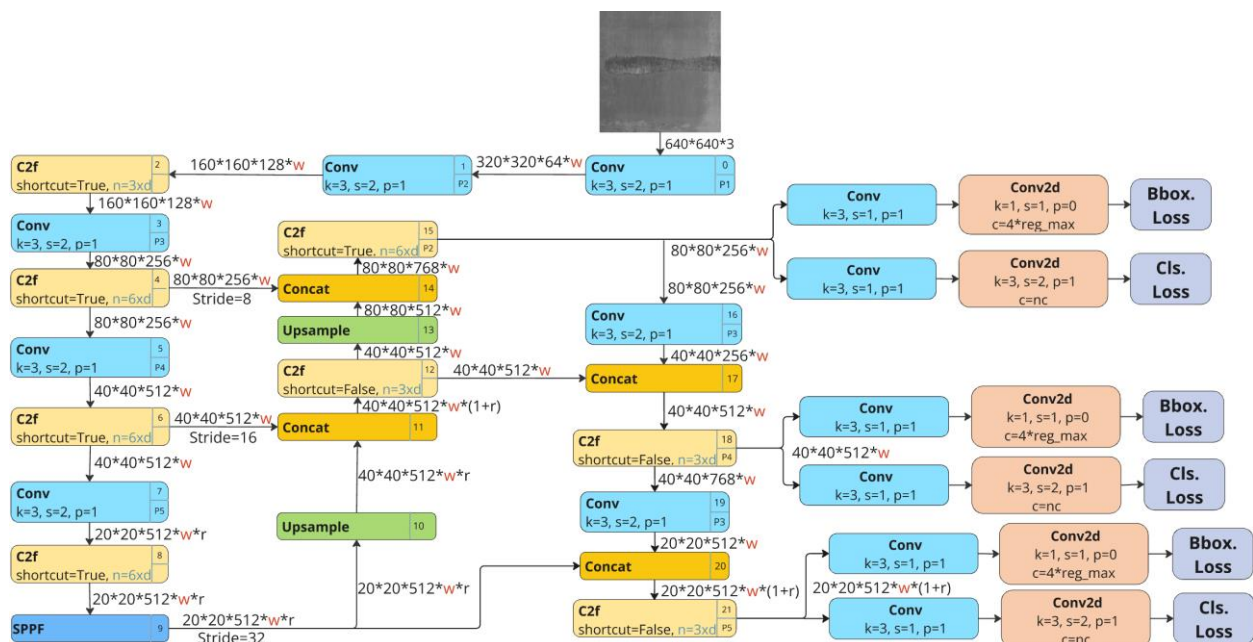


Рис. 2. Архитектура YOLOv8

Fig. 2. YOLOv8 architecture

В качестве опорной экспериментальной модели выбрана YOLOv8 [14]. Исследование показало, что ИНС данной архитектуры демонстрирует

наилучшие результаты в задаче детекции признаков малых объектов при слабой контрастности изображения, что является важным достоинством в

контексте анализа радиографических изображений. При подготовке к исследованию была составлена выборка из 2000 размеченных радиографических изображений сварных соединений с разнообразными видами дефектов. Для повышения сбалансированности и репрезентативности данных выполнена аугментация изображений, что позволило увеличить совокупный размер

обучающей выборки до 6000 экземпляров изображений. В связи с отсутствием общедоступных размеченных наборов данных (далее – датасет) с радиографическими изображениями объектов промышленного радиационного контроля, использовался фрагмент ранее собранного датасета [15], содержащего различные дефекты металлических поверхностей.

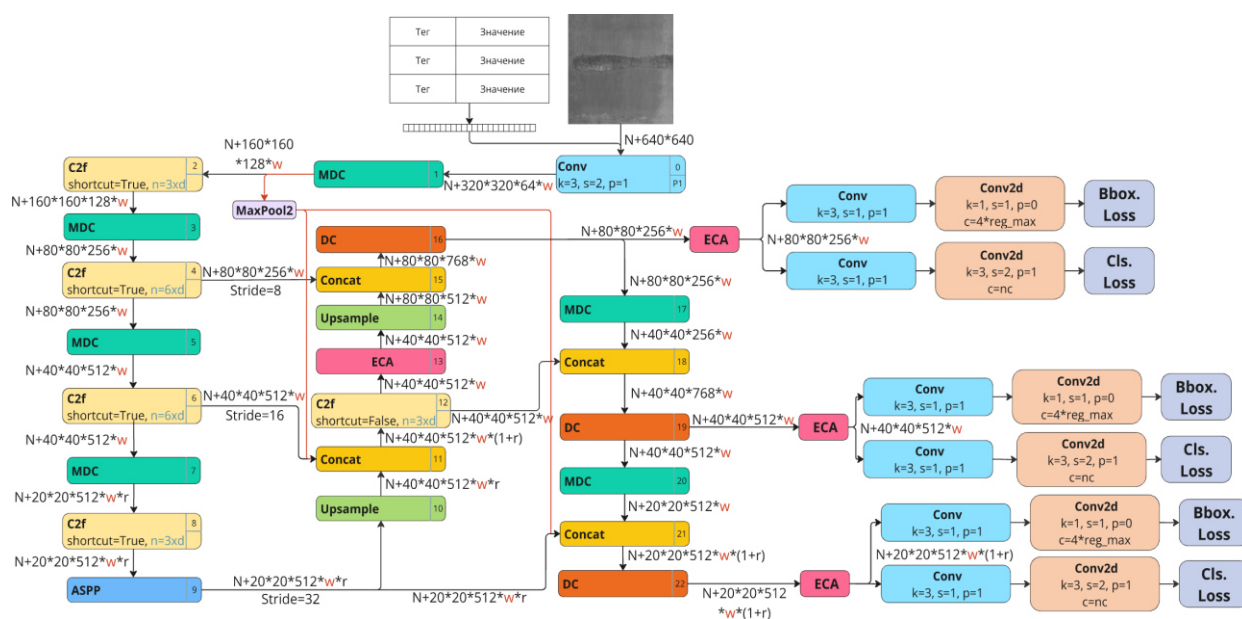


Рис. 3. Архитектура модифицированной версии YOLOv8

Fig. 3. Architecture of the modified version of YOLOv8

Сформированный набор изображений-примеров передаёт встречаемые на практике особенности радиографических изображений промышленных объектов контроля. Исследование проводилось с использованием моделей на основе архитектур YOLOv8 и самой современной на данный момент версии YOLOv10 [16]. Обучение проводилось в 100 эпох и включало применение модификаций Nano, Small и Medium. Как утверждают авторы YOLO [16], в 10-й

версии модели первостепенное внимание уделено производительности, а не качеству получаемых результатов. Однако практическое применение в области детекции изображений автомобильного транспорта позволило добиться удовлетворительных результатов. Таким образом, в совокупности с акцентом на быстродействии модель сохранила чувствительность и обобщающую способность. Из вышеприведенного следует, что исследование практической

эффективности 10-й версии модели в задаче детектирования дефектов является актуальным. Оценка эффективности моделей проводилась на основе набора инференсов, полученных на выходе обученных моделей ИНС при обработке изображений из тестовой выборки и из дополнительного набора изображений, класс которых не представлен в обучающей выборке. Применение изображений дополнительного класса обусловлено

необходимостью оценки способности модели к обобщению локальных признаков в условиях ненормированности и неполноты обучающей выборки применительно к реальным объектам НК. На рисунке 4 представлены несколько примеров экспериментальных инференсов: слева – результаты, полученные на тестовой выборке; справа – результаты, полученные на изображениях дополнительного класса.

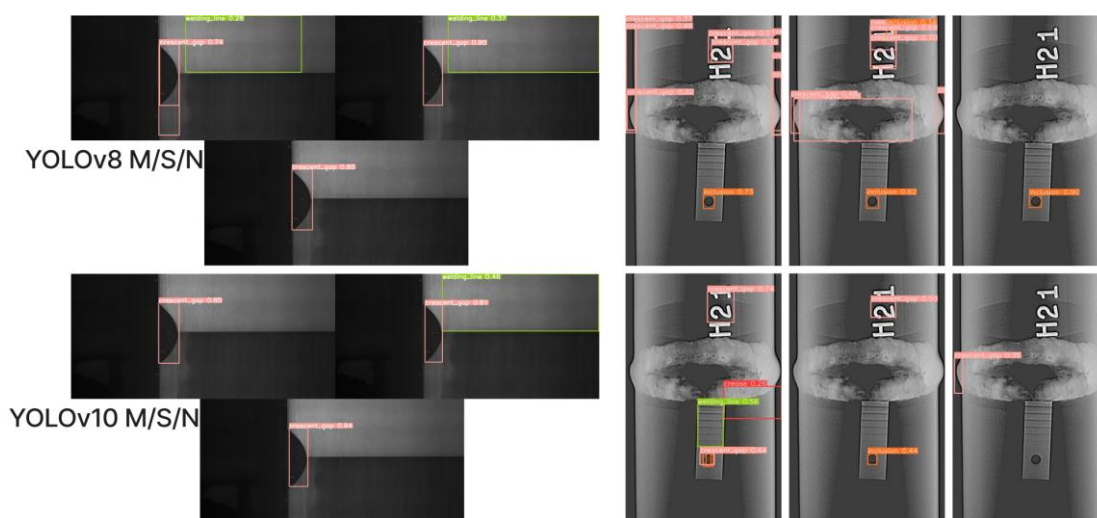


Рис 4. Примеры экспериментальных инференсов YOLOv8 и YOLOv10

Fig 4. Examples of experimental inferences of YOLOv8 and YOLOv10

Поскольку обе модели продемонстрировали весьма ограниченные способности к обобщению локальных признаков в пределах используемого датасета, использование традиционных методов на основе общепринятых метрик, таких как mAP, Precision и Recall, для сравнения – результатов работы моделей, не привело к статистически значимому выводу из-за высокой степени вариативности полученных оценок, и соответствующие диаграммы опущены. Для анализа итоговых показателей был

применен метод экспертной оценки. В ходе изучения экспериментальных инференсов моделей был сделан вывод о более низкой эффективности 10-й версии в контексте обобщения локальных признаков дефектов. При использовании 8-й версии как на изображениях тестовой выборки, так и на изображениях дополнительного класса контуры дефектов известных ИНС выявляются чаще, чем при использовании 10-й версии модели. Выявленная способность YOLOv8 к более эффективному извлечению локальных



признаков служит основанием для ее применения в качестве опорной модели при разработке модифицированной версии. На решение также повлияли результаты ранее выполненного исследования эффективности распространенных моделей в задаче обработки данных радиационного НК [17].

В ходе анализа отдельных элементов архитектуры YOLOv8 было установлено, что последовательные сверточные операции, сопровождающиеся повышающей дискретизацией (Upsampling), ведут к утрате значимой части пространственной информации, заключенной в верхних слоях базовой модели. Пространственные признаки описывают положение, структуру объектов, форму, размер и иные характеристики, определяющие расположение объектов относительно друг друга. Модель, предварительно обученная на выборке с примерами как крупных, так и мелких дефектов, демонстрирует высокую точность в классификации и локализации отчетливо выраженных дефектов, однако демонстрирует ограниченные способности в задаче выявления мелкоразмерных включений.

Для устранения описанной проблемы предлагается использовать несколько подходов, способных повысить практическую ценность модели:

- внедрение механизма эффективного канального внимания (ECA) [18], основанного на адаптивном сверточном ядре. Использование одномерного внимания вместо традиционной полной матрицы и глобального усреднения позволяет приоритизировать каналные

признаки. Канальными признаками называется информация, представленная в каналах данных, позволяющая выделять текстурные или цветовые признаки объекта. Канальное внимание способствует как увеличению точности распознавания, так и значительному сокращению вычислительных затрат [18];

- замена последовательности блоков сверточных операций на 2 вида блоков, различающихся наличием и отсутствием операции максимального объединения (MaxPool2D), а также состоящие из свертки с шагом 2 и разделяемой свертки по глубине (DC/MDC) [19];

- дополнение слоев малой размерности информацией из начальной карты признаков путем операции максимального объединения;

- использование вместо пространственного пирамидального объединения, его расширенную модификацию (ASPP) [20];

- интеграция информации из метаданных файла формата DICOM в качестве элемента входного тензора.

Комплексирование вышеописанных подходов способствует улучшению общей эффективности опорной модели в контексте обнаружения объектов малой размерности и низкой контрастности. Внедрение механизма канального внимания внедряет адаптивный фокус на наиболее значимых каналах изображения, повышая чувствительность к локализации мелкоразмерных дефектов. Переход к более эффективным вычислительным операциям, таким как блоки DC/MDC, сократит затраты вычислительных ресурсов и время обработки.

Свертка, разделяемая по глубине, позволит модели с большей точностью сохранять ценную пространственную информацию, одновременно снижая вычислительную сложность сети. Этот подход приобретает особую значимость при обработке больших массивов размеченных данных в условиях их непрерывного притока, когда скорость анализа становится критически важным фактором наряду с точностью.

Дополнение слоев информацией из начальной карты признаков повышает сохранность мелких деталей, зачастую утрачиваемых при глубокой свертке и обратной операции повышения дискретизации. Такой подход дополняет модель способностью учитывать как глобальные, так и локальные признаки, что является необходимым условием для надежного выявления дефектов.

Использование расширенного пространственного пирамидального объединения способствует увеличению рецептивного поля с сохранением числа параметров и вычислительных затрат. Это, в свою очередь, позволяет учитывать расширенный набор признаков при обработке изображений. Кроме того, расширенная свертка формирует последовательность слоев из целого размерного ряда, что позволяет модели эффективно обрабатывать признаки различного масштаба и уровня детализации.

Использование метаданных DICONDE, в свою очередь, позволяет контекстуализировать представление данных, что способствует формированию дополнительных нейронных связей и признаков дефектов. Обогащение

информацией улучшает обучаемость модели, в результате чего она усиливает устойчивость к вариативности и противоречивости данных. Под вариативностью данных подразумевается обработка изображений дополнительного класса, отсутствующего в обучающей выборке.

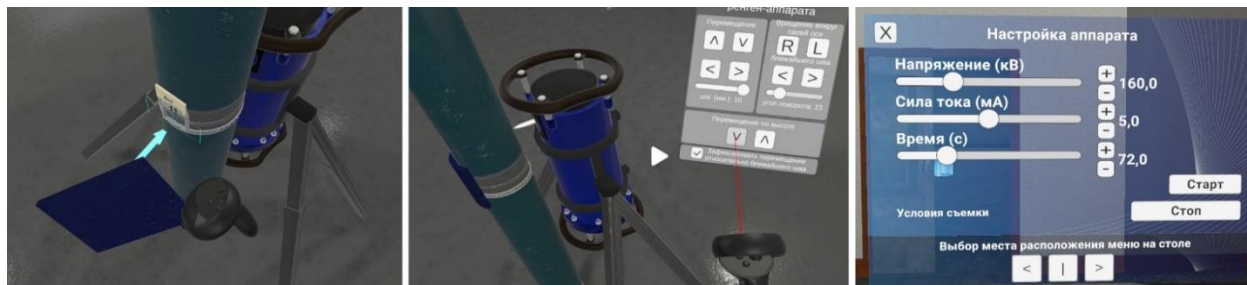
Формат DICONDE является модификацией медицинского формата DICOM [21], служащего связующим звеном для идентификации пациентов и передачи качественной и количественной информации между медицинскими учреждениями. Отличие заключается в расширенном наборе тегов, включающих множество параметров, описывающих характеристики используемого оборудования, особенности условий проведения контроля, а также параметры исследуемого объекта [22]. Использование тегов для получения доступной информации в качестве входного тензора способствует ускорению сходимости алгоритма обновления весов и повышению точности модели. Выступая в качестве дополнительного набора признаков при обучении и анализе нового изображения, эта информация значительно усиливает показатель уверенности предсказания модели.

Ключевая идея, лежащая в основе предлагаемого метода синтеза VR- и CV-технологий, заключается в имплементации предобученной модифицированной модели ИНС для интеллектуального ассистирования в процессе обучения специалистов по НК. Рассмотрим порядок взаимодействия обучающегося с интеллектуальным ассистентом.

На первом этапе обучающийся настраивает виртуальное окружение, устанавливая технологические параметры экспонирования, положение радиографического аппарата и элементов оснастки и выполняя другие операции для получения полихроматического изображения в качестве результата радиографического контроля исследуемого объекта (рис. 5).

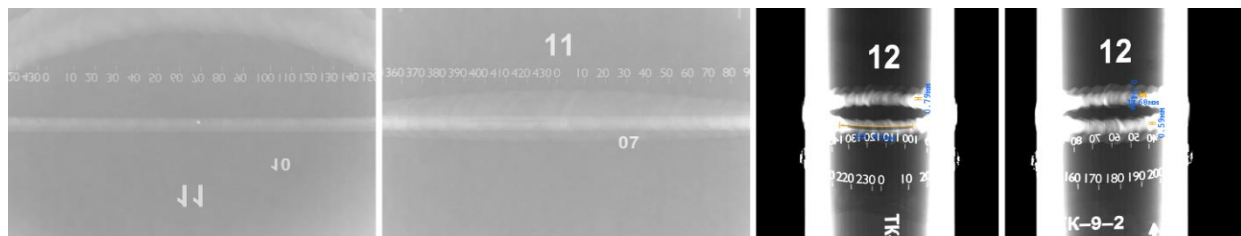
На втором этапе осуществляется визуальная оценка графического представления результатов контроля объекта. На рисунке 6 представлены примеры результатов, полученных участниками в рамках проведения конкурса профессионального мастерства. На данном этапе обучающийся получает возможность обратиться к интеллектуальному ассистенту, который служит в качестве

экспертной системы, обладающей необходимым набором знаний. При взаимодействии с ассистентом выполняется первичная предобработка изображения для формирования элементов входного тензора. ИНС, предварительно обученная на специализированном датасете, обрабатывает полученную информацию и проводит детектирование контуров и класса наиболее распространенных дефектов, перечень которых формируется на основе ретроспективных данных НК. Процесс детектирования осуществляется с учетом настраиваемого порогового показателя минимальной уверенности предсказания, что позволяет обучающемуся как сконцентрировать внимание на наиболее отчетливых дефектах, так и рассмотреть участки снимка с менее отчетливыми признаками.



**Рис. 5.** Настройка детектора, оснастки, штатива и аппарата в виртуальном окружении перед экспонированием

**Fig. 5.** Setting up the detector, accessories, stand and machine in the virtual environment before exposure



**Рис. 6.** Примеры графического представления результатов контроля: гибкий детектор; плоский детектор с разметкой в специализированной программе

**Fig. 6.** Examples of graphical representation of inspection results: flexible detector; flat detector with markup in specialized software

Ассистивная часть объединенной системы графически выделяет местоположение обнаруженного дефекта, представляя как размеченное изображение, так и список обнаруженных дефектов, отсортированный в порядке релевантности результатов. Список дефектов сопровождается детальными описаниями, основанными на информации, заложенной в базу знаний системы. Обучающийся принимает окончательное решение о выявлении факта наличия дефекта в контролируемом образце. Ответы обучающегося фиксируются системой, преподавателем или экспертом, после чего выполняется валидация результатов.

Результаты успешной валидации пополняют набор размеченных данных. Такой подход предоставляет возможность со временем дообучать ИНС с использованием как уже известных, так и совершенно новых видов радиографических изображений. Это позволяет адаптировать веса модели под новые требования к виду изображений или для распознавания дополнительных классов дефектов с сохранением конфигурации ИНС, а также сбалансировать и разнообразить набор данных с целью повышения точности распознавания.

### Результаты и их обсуждение

Вышеописанный метод предоставляет возможность улучшения образовательного процесса при подготовке молодых специалистов, не ограничиваясь лишь сферой НК промышленной радиографии, а охватывая смежные области, где практическое обучение сопряжено с

высокими экономическими и экологическими рисками. Такие условия требуют от специалистов не только высокой квалификации, но и исключительной внимательности при выполнении поставленных задач. Рассмотрим несколько примеров теоретического применения синтеза VR- и CV-технологий.

В области медицины хирургическое вмешательство в человеческие ткани сопряжено с решением важной задачи корректного позиционирования медицинского оборудования, расчета и соблюдения наиболее безопасной траектории для достижения требуемого участка. В этом контексте применение виртуального симулятора с интегрированным интеллектуальным ассистентом становится востребованным и эффективным инструментом для овладения практическими навыками и их развития. Ассистент в такой системе может не только выявлять патологические отклонения, но и находить и подсказывать безопасные траектории движения, чтобы сократить срок подготовки и время выполнения операции, снизить риск возникновения осложнений. Ассистент может иметь функции анализа действий, выявления неточностей и предоставлять ценные рекомендации по их устранению, тем самым способствуя повышению безопасности и эффективности как образовательного, так и профессионального хирургического процесса. Кроме того, подобный метод может способствовать повышению скорости развития профессиональных навыков практикующих медиков. Доступ к актуальным данным о новых

методиках и технологиях проведения операций, а также возможность анализа собственной работы с помощью интеллектуального ассистента способствуют непрерывному профессиональному развитию. Это особенно важно в свете стремительного прогресса в медицинской сфере, где ежедневно появляются новые подходы и инструменты борьбы с патологиями.

Другим примером применения синтеза VR- и CV-технологий является использование интеллектуального ассистента при моделировании работы атомных электростанций. Ассистент способен значительно обогатить процессы обучения и симуляции на атомных электростанциях, имитируя реальное окружение, что позволяет операторам и техническим специалистам взаимодействовать с виртуальными моделями оборудования. Таким образом, создается безопасная и контролируемая среда для отработки навыков и принятия решений, приближенных к реальным условиям. Использование VR-технологий позволяет специалистам пройти через сценарии, охватывающие как стандартные процедуры, так и непредвиденные аварийные ситуации. Интерактивная визуализация процессов и работы оборудования помогает быстрее познакомиться с деталями взаимодействия различных факторов и их влияния на сложную систему в целом. CV-система отслеживает действия пользователя, анализируя их для своевременного выявления ошибок в процессе работы. В результате

интеллектуальный ассистент становится важным инструментом не только для подготовки кадров, но и для повышения общей безопасности на атомных электростанциях. Интеграция современных технологии способствует сокращению времени на обучение, повышению доступности, снижению себестоимости обучения, что позволяет расширять компетенции практикующих специалистов в смежные области, а также позволяет повысить квалификацию опытных сотрудников в вопросах действия в редких и сложно воссоздаваемых ситуациях, что, в свою очередь, ведет к снижению рисков и повышению общей эффективности работы атомной станции.

## Выводы

Синтезирование CV- и VR-технологий открывает новые горизонты для практико-ориентированного обучения, формируя надежный фундамент для поддержания высокого уровня профессиональной подготовки специалистов в соответствии с современным набором компетенций, предоставляет ценную возможность непрерывного развития и совершенствования навыков с опорой на анализ ретроспективной информации. Интеграция предлагаемого подхода в области, сопряженная с высоким уровнем риска и ответственности за результат в качестве инструмента обучения и поддержки принятия решений, способствует точному знанию установленных норм и корректировке существующих пробелов в знаниях специалистов.



Будущие исследования могут быть направлены на практическую реализацию описанного метода в виртуальном окружении и оценку академической и производственной эффективности. Движение к новым стандартам обучения и

профессиональной подготовки обещает преобразовать доступ к знаниям и навыкам, создавая пространство для инноваций и роста на каждом этапе профессиональной карьеры.

### Список литературы

1. Благодетелева Н. К. Тенденции и перспективы использования современных VR-технологий в иноязычном образовании в системе высшего образования России // Мир науки, культуры, образования. 2023. № 3 (100). С. 109–113.
2. Миргородская О. Н. Исследование опыта использования иммерсивных технологий в маркетинговой деятельности предприятий розничной торговли // Предпринимательство, маркетинг и логистика в цифровой экономике: материалы II Всероссийской конференции / Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева. Орёл, 2024. С. 183–190.
3. Рысбай Н. Машинное обучение в передовых исследованиях. процессы разработки // Вестник науки. 2023. Т. 3, № 5 (62). С. 604–611.
4. Оздамиров Р. В. Влияние технологий виртуальной реальности на обучение в цифровой образовательной среде // Перспективы развития высшей школы: материалы I Международной научно-практической конференции / отв. ред. М. В. Баделина. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2020. С. 250–255.
5. Гараев А. И. Развитие образовательных VR-технологий в цифровой среде // Конкурентоспособность субъектов хозяйствования в условиях новых вызовов внешней среды: проблемы и пути их решения: сборник материалов Международной научно-практической конференции / под общ. ред. Н. В. Мальцева. Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного горного университета, 2020. С. 20.
6. Сурай Н. М., Теплая Н. А. Современные тренды в области применения цифровых технологий в российском ретейле // Экономика. Профессия. Бизнес. 2024. № 2. С. 94–104.
7. Гусакова А. А., Кальвинковская В. Д., Байбардина Т. Н. Перспективы использования технологий машинного обучения и искусственного интеллекта в маркетинге. URL: [http://lib.i-bteu.by/bitstream/handle/22092014/6382/Гусакова%20А.А.\\_Кальвинковская%20В.Д.%20Перспективы.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://lib.i-bteu.by/bitstream/handle/22092014/6382/Гусакова%20А.А._Кальвинковская%20В.Д.%20Перспективы.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (дата обращения: 11.09.2024).
8. Технологии виртуальной и дополненной реальности в образовательном процессе / И. И. Полевода [и др.] // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2022. Т. 6, № 1. С. 119–142.

9. Trampus P. Symbiosis of industry 4.0 and non-destructive evaluation // *Buletin Stiintific. Kishinev*, 2023. P. 43–51.
10. Saboonchi H., Blanchette D., Hayes K. Advancements in radiographic evaluation through the migration into NDE 4.0 // *Journal of nondestructive evaluation*. 2021. Vol. 40. P. 1–12.
11. NDE 4.0: Progress, promise, and its role to industry 4.0 / N. G. Meyendorf, N. Ida, R. Singh, J. Vrana // *NDT & E International* 2023. N 140(8). P. 102957. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2023.102957>
12. Классификация современных методов неразрушающего контроля. Возможность их применения для диагностики оборудования нефтегазовой отрасли / А. Е. Нижник [и др.] // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2020. № 5. С. 41–46.
13. Кувшинников В. С., Ковшов Е. Е. Подготовка специалистов по радиационному виду неразрушающего контроля с применением цифровых технологий // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2024. Т. 13, № 4. С. 54–69.
14. A review on YOLOv8 and its advancements / M. Sohan [et al.] // *International Conference on Data Intelligence and Cognitive Informatics*. Singapore: Springer, 2024. P. 529–545.
15. Корчагин В. Д. Анализ современных SOTA-архитектур искусственных нейронных сетей для решения задач классификации изображений и детекции объектов // *Программные системы и вычислительные методы*. 2023. № 4. С. 73–87.
16. Yolov10: Real-time end-to-end object detection / A. Wang [et al.]. URL: <https://arxiv.org/abs/2405.14458> (accessed 11.09.2024).
17. Корчагин В. Д., Кувшинников В. С., Ковшов Е. Е. Критериальный анализ моделей обработки данных радиационного неразрушающего контроля // *International Journal of Open Information Technologies*. 2024. Vol. 12. № 4. P. 23–31.
18. ECA-Net: Efficient Channel Attention for Deep Convolutional Neural Networks / Qilong Wang, Banggu Wu, Pengfei Zhu, Peihua Li, Wangmeng Zuo, Qinghua Hu. URL: <https://arxiv.org/abs/1910.03151> (accessed 11.09.2024).
19. Wang H., Song X. DC-YOLO: A dual channel YOLO for small object defect detection of circuit boards // *2024 5th International Conference on Computer i Vision, Image and Deep Learning (CVIDL)*. IEEE, 2024. P. 1292–1296.
20. DeepLab: Semantic Image Segmentation with Deep Convolutional Nets, Atrous Convolution, and Fully Connected CRFs / Liang-Chieh Chen, G. Papandreou, I. Kokkinos, K. Murphy, A. L. Yuille // *IEEE Trans. Pattern. Anal. Mach. Intell.* 2018. N 40 (4). P. 834–848. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2017.2699184>

21. Larobina M. Thirty years of the DICOM standard // *Tomography*. 2023. Vol. 9, N 5. P. 1829–1838.

22. Vrana J. Industrial Internet of things, digital twins, and cyber-physical loops for NDE 4.0 // *Handbook of Nondestructive Evaluation 4.0*. Cham: Springer, 2022. P. 295–328.

## References

1. Blagodeteleva N.K. Trends and prospects of using modern VR technologies in foreign language education in the Russian higher education system. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya = The World of Science, Culture, and Education*. 2023; (3):109–113. (In Russ.)

2. Mirgorodskaya O.N. A study of the experience of using immersive technologies in the marketing activities of retail enterprises. In: *Predprinimatel'stvo, marketing i logistika v tsifrovoi ekonomike: materialy II Vserossiiskoi konferentsii = Entrepreneurship, marketing and logistics in the digital economy: Proceedings of the II All-Russian Conference*. Orel: Orlvskii gosudarstvennyi universitet imeni I.S. Turgeneva; 2024. P. 183–190. (In Russ.)

3. Rysbai N. Machine learning in advanced research. development processes. *Vestnik nauki = Bulletin of Science*. 2023;3(5):604–611. (In Russ.)

4. Ozdamirov R.V. The influence of virtual reality technologies on learning in a digital educational environment. In: Badelina M.V. (ed.) *Perspektivy razvitiya vysshei shkoly: materialy I Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Prospects for the development of higher education: Materials of the I International Scientific and Practical Conference*. Tyumen: Tyumen Industrial University; 2020. P. 250–255. (In Russ.)

5. Garaev A.I. Development of educational VR technologies in the digital environment. In: Maltsev N.V. (ed.) *Konkurentosposobnost' sub"ektov khozyaistvovaniya v usloviyakh novykh vyzovov vneshnei sredy: problemy i puti ikh resheniya: Sbornik materialov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Competitiveness of business entities in the context of new challenges of the external environment: problems and ways to solve them: A collection of materials of the International scientific and practical conference*. Yekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta; 2020. P. 20. (In Russ.)

6. Surai N.M., Teplaya N.A. Modern trends in the application of digital technologies in Russian retail. *Ekonomika. Professiya. Biznes = Economy. Profession. Business*. 2024;(2):94–104. (In Russ.)

7. Gusakova A.A., Kalvinkovskaya V.D., Baibardina T.N. Prospects of using machine learning and artificial intelligence technologies in marketing. (In Russ.) Available at: [http://lib.i-bteu.by/bitstream/handle/22092014/6382/Гусакова%20А.А.\\_Кальвинковская%20В.Д.%20Perspectives.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://lib.i-bteu.by/bitstream/handle/22092014/6382/Гусакова%20А.А._Кальвинковская%20В.Д.%20Perspectives.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (accessed 09.11.2024).

8. Polevoda I.I., et al. Virtual and augmented reality technologies in the educational process. *Vestnik Universiteta grazhdanskoi zashchity MChS Belarusi = Bulletin of the University*

*of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Belarus*. 2022;6(1);119–142. (In Russ.)

9. Trampus P. Symbiosis of industry 4.0 and non-destructive evaluation. In: *Buletin Scientific*. Kishinev; 2023. P. 43–51.

10. Saboonchi H., Blanchette D., Hayes K. Advancements in radiographic evaluation through the migration into NDE 4.0. *Journal of nondestructive evaluation = Journal of Non-destructive Evaluation*. 2021;40:1–12.

11. Meyendorf N.G., Ida N., Singh R., Vrana J. NDE 4.0: Progress, promise, and its role to industry 4.0. *NDT & E International*. 2023;(140):102957. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2023.102957>

12. Nizhnik A.E., et al. Classification of modern methods of non-destructive testing. The possibility of their application for diagnostics of equipment in the oil and gas industry. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more = Construction of Oil and Gas Wells on Land and at Sea*. 2020;(5):41–46. (In Russ.)

13. Kuvshinnikov V.S., Kovshov E.E. Training specialists in radiation non-destructive testing using digital technologies. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2024;13(4):54–69. (In Russ.)

14. Sohan M., et al. A review on YOLOv8 and its advancements. In: *International Conference on Data Intelligence and Cognitive Informatics*. Singapore: Springer; 2024. P. 529–545.

15. Korchagin V.D. Analysis of modern SOTA architectures of artificial neural networks for solving problems of image classification and object detection. *Programmnye sistemy i vychislitel'nye metody = Software Systems and Computational Methods*. 2023;(4):73–87. (In Russ.)

16. Wang A., et al. Yolov10: Real-time end-to-end object detection. Available at: <https://arxiv.org/abs/2405.14458> (accessed 09.11.2024).

17. Korchagin V.D., Kuvshinnikov V.S., Kovshov E.E. Criterion analysis of data processing models for radiation non-destructive testing. *International Journal of Open Information Technologies*. 2024;12(4):23–31.

18. Qilong Wang, Banggu Wu, Pengfei Zhu, Peihua Li, Wangmeng Zuo, Qinghua Hu. ECA-Net: Efficient Channel Attention for Deep Convolutional Neural Networks. Available at: <https://arxiv.org/abs/1910.03151> (accessed 11.09.2024).

19. Wang H., Song X. DC-YDLO: A dual channel YOLO for small object defect detection of circuit boards. In: *2024 5th International Conference on Computer i Vision, Image and Deep Learning (CVIDL)*. IEEE; 2024. P. 1292–1296.

20. Liang-Chieh Chen, Papandreou G., Kokkinos I., Murphy K., Yuille A. L. DeepLab: Semantic Image Segmentation with Deep Convolutional Nets, Atrous Convolution, and Fully Connected CRFs. *IEEE Trans. Pattern. Anal. Mach. Intell.* 2018;(40):834–848. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2017.2699184>
21. Larobina M. Thirty years of the DICOM standard. *Tomography.* 2023;9(5):1829–1838.
22. Vrana J. Industrial Internet of things, digital twins, and cyber-physical loops for NDE 4.0. In: *Handbook of Nondestructive Evaluation 4.0*. Cham: Springer; 2022. P. 295–328.

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Корчагин Валерий Дмитриевич**, аспирант,  
Российский химико-технологический  
университет имени Д. И. Менделеева,  
г. Москва, Российская Федерация,  
e-mail: ValeraK249@gmail.com,  
ORCID: 0009-0003-1773-0085

**Valerii D. Korchagin**, Post-Graduate  
Student, Dmitry Mendeleev University  
of Chemical Technology of Russia,  
Moscow, Russian Federation,  
e-mail: ValeraK249@gmail.com,  
ORCID 0009-0003-1773-0085

**Кувшинников Владимир Сергеевич**,  
кандидат технических наук, старший научный  
сотрудник, Научно-исследовательский  
и конструкторский институт монтажной  
технологии – Атомстрой,  
г. Москва, Российская Федерация,  
e-mail: KuvshinnikovVS@atomrus.ru,  
ORCID: 0000-0002-2565-2510

**Vladimir S. Kuvshinnikov**, Candidate  
of Sciences (Engineering), Senior Researcher,  
Joint Stock Company Research and Design  
Institute of Installation Technology – Atomstroy,  
Moscow, Russian Federation,  
e-mail: KuvshinnikovVS@atomrus.ru,  
ORCID: 0000-0002-2565-2510

**Ковшов Евгений Евгеньевич**, доктор  
технических наук, профессор, начальник  
лаборатории, Научно-исследовательский  
и конструкторский институт монтажной  
технологии – Атомстрой,  
г. Москва, Российская Федерация,  
e-mail: KovshovEE@atomrus.ru,  
Researcher ID: B-1077-2016,  
ORCID: 0000-0003-4758-1730

**Evgeny E. Kovshov**, Doctor of Sciences  
(Engineering), Professor, Head of Laboratory,  
Joint Stock Company Research and Design  
Institute of Installation Technology – Atomstroy,  
Moscow, Russian Federation,  
e-mail: KovshovEE@atomrus.ru,  
Researcher ID: B-1077-2016,  
ORCID: 0000-0003-4758-1730