

^{1,*}Сотников А. Л., ²Ковальчик Р. В., ³Орлов А. А.

¹Донецкий национальный технический университет,

²Приазовский государственный технический университет,

³Донбасский государственный технический университет

*E-mail: 0713019870@mail.ru

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ ОБЪЕКТОВ НА РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКАХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Рассмотрен процесс разработки архитектуры веб-приложения для автоматизированной детекции объектов на рентгеновских снимках сварных соединений с использованием нейросетевой модели YOLOv5. Представлена структура проекта, включающая серверную часть, реализованную на основе асинхронного фреймворка FastAPI, и клиентский интерфейс, разработанный с использованием HTML и JavaScript. Описаны основные этапы работы приложения: загрузка изображения, его предобработка с помощью библиотеки OpenCV, выполнение инференса модели и возврат результатов пользователю в формате JSON с последующей визуализацией обнаруженных объектов. Интерфейс приложения интуитивно понятный и удобный в использовании; он обеспечивает загрузку изображения, его предварительный просмотр и отображение результатов детекции в реальном времени. Приложение развернуто на тестовом сервере под управлением операционной системы Ubuntu 22.04. Результаты тестирования подтвердили корректное функционирование всех компонентов системы и высокую точность детекции объектов. Продемонстрирован потенциал предложенного решения для автоматизации анализа рентгеновских снимков с применением систем поддержки принятия решений на основе технологий искусственного интеллекта.

Ключевые слова: веб-приложение, YOLOv5, рентгеновский снимок, сварное соединение, маркировочные знаки, детекция объектов, FastAPI, компьютерное зрение, нейросетевые модели.

Введение. Анализ рентгеновских снимков сварных соединений является важной частью неразрушающего контроля качества, однако традиционные методы требуют значительных временных и человеческих ресурсов, а также подвержены субъективным ошибкам.

Предложенная в работе [1] классификация методов неразрушающего контроля сварных соединений позволяет учитывать специфику типовых дефектов при выборе оптимальных подходов контроля и может быть полезна при дальнейшем развитии автоматизированной обработки рентгеновских снимков. Развитие технологий цифровой обработки изображений и искусственного интеллекта открывает возможность автоматизации данного процесса, позволяя повысить точность и скорость обнаружения дефектов. Разработка веб-приложения, объединяющего современные

нейросетевые модели и удобный интерфейс пользователя, представляет собой актуальное решение, способное внедряться в промышленные системы поддержки принятия решений [2–4].

При создании таких приложений краеугольным вопросом является разработка их архитектуры. Архитектура приложения представляет собой стратегически организованную структуру, определяющую взаимодействие компонентов системы и принципы их проектирования. Она охватывает как дизайн, отвечающий за пользовательский опыт, так и технические аспекты, включая интеграцию с данными и инфраструктурой. Выбор архитектуры напрямую влияет на производительность, масштабируемость и экономическую эффективность приложений, что делает разработку архитектуры критически важным этапом проектирования систем автоматизированной об-

работки визуальной информации и систем поддержки принятия решений [5, 6].

Современные веб-приложения, такие как одностраничные (SPA), демонстрируют, как эволюция архитектурных подходов позволяет решать новые задачи. Переход от статических HTML-страниц к динамическим интерфейсам, где сервер предоставляет данные через API, а клиентская часть реализует логику с помощью JavaScript, потребовал переосмысления серверной архитектуры [7]. Включая использование микросервисов для обработки запросов [8] и интеграцию с внешними системами, такими как нейронные сети для анализа данных [9].

Разработка архитектуры требует баланса между текущими потребностями и будущими вызовами. Принципы SOLID способствуют созданию гибких систем, снижая затраты на внедрение новых функций [5]. Использование современных инструментов, таких как фреймворки для SPA, ускоряет разработку, но требует согласованности между клиентской и серверной частями [6].

В системах с элементами искусственного интеллекта архитектура играет ключевую роль в организации взаимодействия между компонентами. Например, анализ визуальных данных требует координации между брокером сообщений, файловым хранилищем и нейронной сетью. При этом трехуровневые клиент-серверные модели сохраняют актуальность, разделяя ответственность между клиентом, сервером и базой данных для оптимизации производительности.

Интеграция новых технологий подчеркивает необходимость продуманной архитектуры, объединяющей разнородные компоненты в единую систему. Это включает обеспечение безопасности, масштабируемости и отказоустойчивости, что остается основой успешной разработки как традиционных веб-приложений, так и сложных систем автоматизированной обработки визуальной информации и систем поддержки принятия решений [6, 9].

Цель и задачи работы. *Целью* данной работы является разработка архитектуры веб-приложения для загрузки и обработки рентгеновского снимка сварного соединения с последующей детекцией на нём различных объектов — дефектов и артефактов.

Задача реализована на основе предобученной в среде Google Colaboratory искусственной нейронной сети YOLOv5. Серверная часть приложения реализована с использованием современного асинхронного фреймворка FastAPI, клиентский интерфейс — с применением HTML и JavaScript.

Основное функциональное требование: приложение должно обеспечивать удобную загрузку пользователем файла одиночного изображения через веб-интерфейс, его последующую обработку на сервере (детекцию объектов) и отображение результатов непосредственно в браузере.

Основные *задачи*, реализованные при разработке веб-приложения:

- создание серверного API для загрузки изображений методом POST;
- выполнение предобработки изображений с использованием библиотеки OpenCV;
- интеграция предварительно обученной модели нейронной сети YOLOv5 для детекции объектов;
- возврат обработанного изображения и результатов детекции в формате JSON;
- разработка фронтенда для загрузки изображения и отображения результатов пользователю.

Дополнительные требования заключаются в обеспечении устойчивой работы приложения на сервере под управлением операционной системы Ubuntu, а также в возможности дальнейшего масштабирования решения.

Структура проекта. Структура проекта представлена на рисунке 1. В корневой директории, названной «ODProject», расположены папки и файлы проекта, включая реализацию архитектуры YOLOv5. Оптимальные веса нейросети сохранены в файле best.pt.

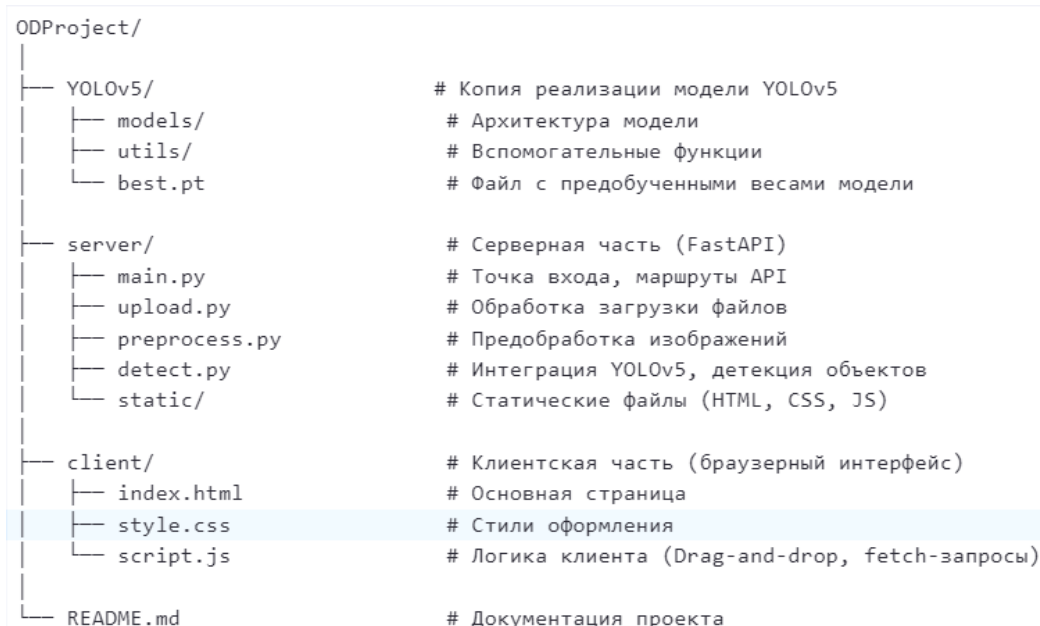


Рисунок 1 — Структура проекта

Реализация серверной части. Для реализации серверной части был выбран фреймворк FastAPI, обеспечивающий высокую скорость обработки запросов [10] и удобство разработки благодаря встроенной поддержке асинхронности и автоматической генерации OpenAPI-документации [11].

Основные компоненты серверной части включают в себя:

- **обработку файлов:** приём изображений в формате multipart/form-data;
- **предобработку изображений:** преобразование байтового потока в массив NumPy с использованием OpenCV (cv2.imdecode), масштабирование изображения до размера 640×640 пикселей;
- **интеграцию модели YOLOv5:** применение предобученной нейросети YOLOv5 для детекции объектов на полученных изображениях;
- **формирование ответа:** кодирование обработанного изображения обратно в формат Base64 для передачи клиенту и возврат списка обнаруженных объектов.

Для удобства обслуживания статических файлов подключен модуль StaticFiles фреймворка FastAPI.

Реализация клиентской части. Клиентская часть реализована с использованием HTML5, CSS3 и нативного JavaScript. Основные элементы пользовательского интерфейса включают:

- **загрузку изображения методом Drag-and-Drop:** возможность загрузки файла перетаскиванием в выделенную область;
- **предпросмотр изображения:** отображение оригинального снимка до начала обработки;
- **индикацию загрузки:** визуальную анимацию, сигнализирующую о процессе отправки данных на сервер;
- **отображение результатов:** визуализацию обработанного изображения и списка найденных объектов с указанием классов и уровня уверенности.

Асинхронный обмен данными между клиентом и сервером осуществляется через API fetch, что обеспечивает плавную работу интерфейса без перезагрузки страницы.

Реализация обработки изображений. Преобразование изображения. После получения изображения с клиента сервер выполняет следующие этапы обработки:

1. Преобразование байтов в массив NumPy:

```
python
np_arr = np.frombuffer(file_bytes, np.uint8)
img = cv2.imdecode(np_arr, cv2.IMREAD_COLOR)
```

2. Масштабирование изображения до размеров, соответствующих входу модели YOLOv5:

```
python
img_resized = cv2.resize(img, (640, 640))
```

3. При необходимости — преобразование цветового пространства из BGR в RGB.

Детекция объектов. На подготовленном изображении выполняется инференс модели YOLOv5:

```
python
results = model(img_resized)
detections =
results.pandas().xyxy[0].to_dict(orient="records")
```

Из результатов извлекаются координаты ограничивающих прямоугольников (bounding boxes), классы обнаруженных объектов и значения уверенности модели.

Возврат данных клиенту. Обработанное изображение кодируется в формат base64 для передачи:

```
python
_, buffer = cv2.imencode('.jpg',
img_with_boxes)
img_base64 =
base64.b64encode(buffer).decode('utf-8')
```

Данные о детекциях структурируются в JSON-объект и отправляются клиенту вместе с изображением в виде строки Base64.

Развертывание на сервере Ubuntu. Проект был успешно развернут на сервере под управлением операционной системы Ubuntu 22.04. Настройка включала следующие этапы:

- установку Python 3.11 и необходимых библиотек требуемых версий (fastapi, uvicorn, opencv-python, torch, ultralytics и др.), перечисленных в файле requirements.txt;

- клонирование репозитория YOLOv5 и его локальную установку с учетом всех зависимостей;

- настройку виртуального окружения для изоляции проекта;

- запуск серверного приложения с помощью Uvicorn на порту 8000;

- настройку сетевого доступа через IP-адрес.

Функциональные возможности веб-приложения. Веб-приложение, интерфейс которого представлен на рисунке 2, предназначено для загрузки и автоматической обработки одиночного рентгеновского снимка сварного соединения с целью детекции объектов — дефектов и различных артефактов. Интерфейс включает центральную зону, куда пользователь может перетащить файл (метод drag-and-drop) или выбрать его вручную с помощью кнопки «Выберите файл». Приложение поддерживает форматы изображений JPG, PNG, TIF и TIFF с ограничением на размер файла не более 1 МБ.

После загрузки изображение отправляется на сервер для анализа, где с помощью алгоритмов компьютерного зрения выполняется поиск и распознавание объектов. В текущей версии приложения реализована детекция таких элементов, как цифры, символы и обозначения, расположенные рядом со сварными швами — так называемые маркировочные знаки.

В нижней части интерфейса предусмотрена возможность обратной связи с разработчиками.

На рисунке 3 продемонстрирован результат работы приложения. Слева показан исходный рентгеновский снимок без обработки, на котором присутствуют реальные цифровые обозначения (например, «12», «7», «2»), а также могут располагаться буквенно-цифровые метки. Справа — то же изображение после обработки: зоны, где система обнаружила маркировочные знаки, выделены зелеными рамками.

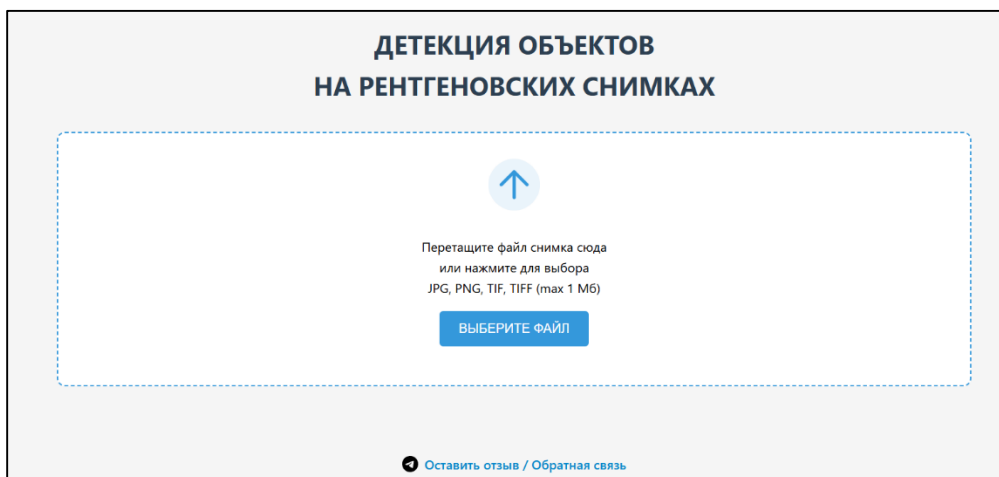


Рисунок 2 — Интерфейс веб-приложения

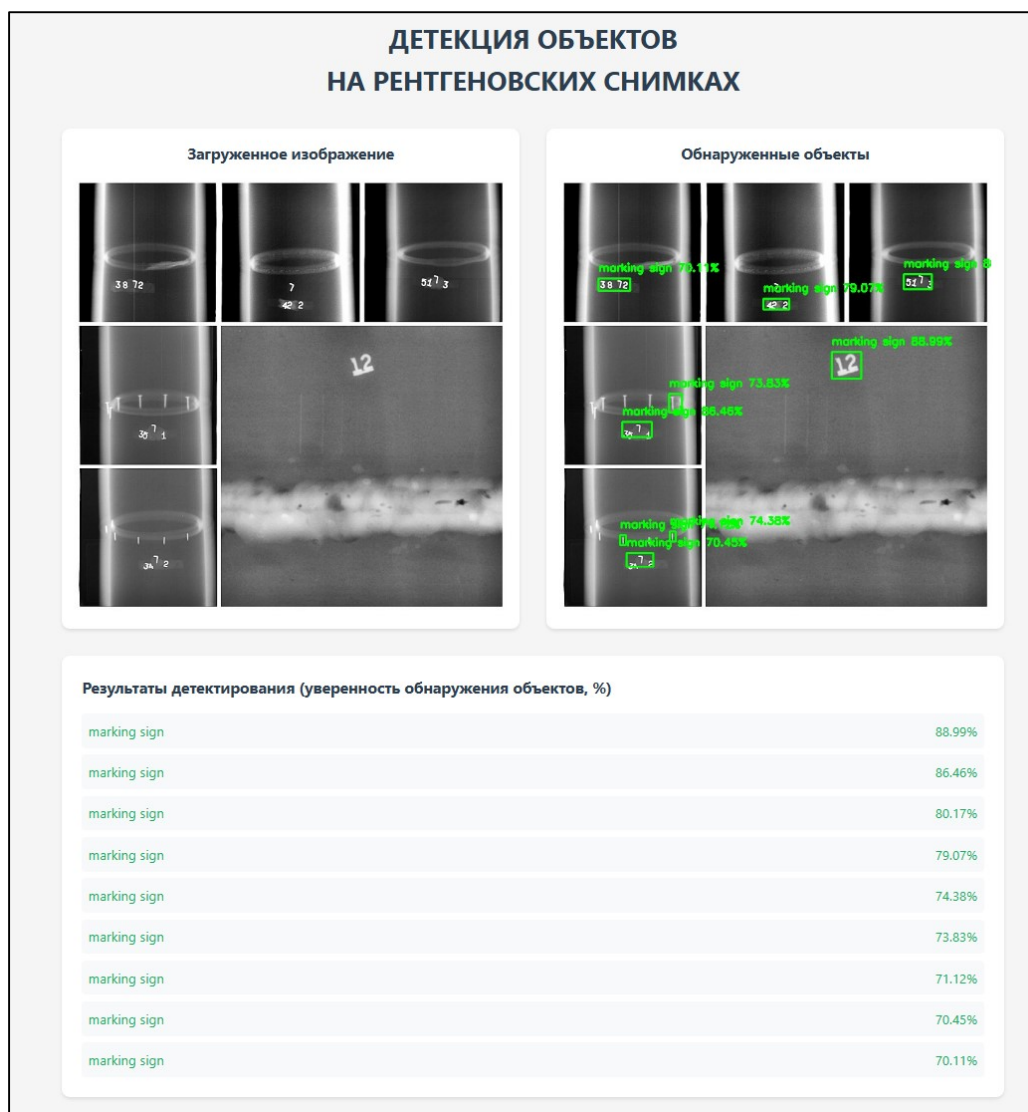


Рисунок 3 — Результат работы веб-приложения

Рядом с каждой рамкой указано название распознанного объекта (marking sign) и уровень уверенности в его обнаружении. Ниже размещена таблица, в которой перечислены все найденные объекты с соответствующими значениями уверенности, варьирующимися от 70,11 до 88,99 %. Эти результаты демонстрируют высокую эффективность и точность алгоритма детекции, что открывает возможность использования системы в дальнейшем для автоматизированного анализа и протоколирования результатов радиационного контроля сварных соединений.

Веб-приложение доступно для открытого тестирования по адресу <http://weldmarker.ru>.

Выводы. В результате проведенной работы было спроектировано и реализовано веб-приложение для загрузки и автоматизированной обработки рентгеновских снимков сварных соединений.

Научная новизна работы заключается в разработке модульной архитектуры веб-приложения, обеспечивающей эффективную интеграцию нейросетевой модели YOLOv5 в асинхронное серверное окружение на базе FastAPI. Предложенная структура позволяет выполнять детекцию объектов на рентгеновских снимках сварных соединений в режиме реального времени, обеспечивая высокую производительность за счет оптимизации обработки изображений и параллелизма запросов. Особенностью решения является использование современных веб-технологий для построения удобного интерфейса, совместимого с дальнейшим масштабированием и внедрением в автоматизированные системы контроля качества.

Решение демонстрирует высокую скорость обработки изображений и точность распознавания маркировочных знаков, что подтверждается тестированием на реальных снимках. Полученные результаты позволяют рассматривать разработанное приложение как перспективный инструмент для ав-

томатизации анализа радиографических изображений в рамках неразрушающего контроля качества сварных соединений.

Ключевые достижения проекта:

- реализация модульной архитектуры, допускающей масштабирование и последующее внедрение новых функций;
- обеспечение корректной работы всех компонентов системы (загрузка, предобработка, инференс, визуализация);
- достижение высокого уровня точности детекции объектов (уверенность от 70 до 89 %) на ограниченном наборе классов;
- создание интуитивно понятного веб-интерфейса, поддерживающего drag-and-drop загрузку изображений и мгновенное отображение результатов.

Дальнейшее развитие проекта может включать следующие направления:

- интеграцию асинхронной очереди задач (например, Celery) для повышения отказоустойчивости и возможности обработки множества изображений параллельно;
- расширение набора детектируемых объектов за счет обучения модели на новых типах объектов и артефактов, присущих рентгеновским снимкам сварных соединений;
- внедрение механизма сохранения истории обработки изображений и формирования отчетов;
- оптимизацию модели YOLOv5 под конкретные аппаратные средства (например, использование TensorRT или ONNX Runtime);
- публикацию API для внешних систем и интеграцию с комплексами цифровой радиографии.

Таким образом, разработанное веб-приложение представляет собой эффективное решение в области автоматизированного анализа рентгеновских снимков и может быть использовано в качестве основы для создания системы поддержки принятия решений специалистами радиационных методов контроля.

Список источников

1. Сотников А. Л., Муховатый А. А., Орлов А. А. Классификация методов неразрушающего контроля сварных соединений из меди, полученных сваркой трением с перемешиванием // *Сварка и Диагностика*. 2022. № 3. С. 19–24. DOI: 10.52177/2071-5234_2022_03_19. EDN UENENG

2. Косач А. А., Ковшов Е. Е. Автоматизация обработки данных неразрушающего контроля на основе искусственной нейронной сети // *Cloud of Science*. 2018. Т. 5. № 3. С. 524–531. EDN XXYINV
3. Бадалян В. Г., Вовилкин А. Х. Применение нейронных сетей в ультразвуковом неразрушающем контроле (Обзор) // *Контроль. Диагностика*. 2022. Т. 25. № 5. С. 12–25. DOI: 10.14489/td.2022.05.pp.012-025. EDN ALYROO
4. Копылов Д. А., Агешин Е. С., Хомутская О. В. Формирование синтетических данных для обучения системы компьютерного зрения // *Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении*. 2022. № 4 (18). С. 18–28. DOI: 10.30987/2658-6436-2022-4-18-28. EDN BRJMSF
5. Бежик А. А., Мажей Я. В. Архитектура приложений. Чем является? Для чего используется? Основные виды и критерии хорошей архитектуры // *Столыпинский вестник*. 2022. № 9. С. 4998–5008. EDN YAFIJQ
6. Егорян В. В., Калугин А. В. Роль архитектурного подхода при разработке программных приложений // *Столыпинский вестник*. 2022. № 9. С. 5110–5122. EDN FDWPDW
7. Жиренкин А. В., Старосельский А. К. Развитие элементов архитектуры современных веб-приложений и их влияние на разработку // *Вестник науки*. 2023. № 6 (63). Т. 3. С. 869–872. EDN ZNMGYR
8. Городничев М. Г., Полонский Р. В. Оценка возможности использования микросервисной архитектуры при разработке пользовательских интерфейсов клиент-серверного программного обеспечения // *Экономика и качество систем связи*. 2020. № 3. С. 33–43. EDN MBNNLI
9. Десятов И. В., Свечников А. А., Кузнецов А. В. Архитектура веб-приложения для оценки пользовательских интерфейсов // *Вестник Пензенского государственного университета*. 2024. № 4. С. 31–34. EDN TVXEVT
10. Кенжебай Э. Б. Выбор архитектуры и технологий для мобильного приложения такси // *In The World Of Science and Education*. 2025. С. 42–45.
11. Загумёнов А. А., Наумова В. В., Ерёмов В. С. Облачный сервис многомерной обработки количественных данных для решения геологических задач // *Вестник НГУ*. 2021. Т. 19. № 3. С. 40–49. DOI: 10.25205/1818-7900-2021-19-3-40-49. EDN EWGGBU

© Сотников А. Л., 2025

© Ковальчик Р. В., 2025

© Орлов А. А., 2025

**Рекомендована к печати к.т.н., доц., зав. каф. ММК ДонГТУ Денисовой Н. А.,
д.т.н., доц., научным руководителем ООО «Маллер» Лысенко И. Е.**

Статья поступила в редакцию 22.05.2025.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Сотников Алексей Леонидович, д-р техн. наук, профессор каф. механического оборудования заводов черной металлургии им. проф. В. Я. Седуша
Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Россия, e-mail: 0713019870@mail.ru

Ковальчик Роман Владиславович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской части
Приазовский государственный технический университет,
г. Мариуполь, Россия

Орлов Андрей Андреевич, старший преподаватель каф. машин металлургического комплекса
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия

Sotnikov A. L. (Donetsk National Technical University, Donetsk, Russia, e-mail: 0713019870@mail.ru), **Kovalchik R. V.** (Priazovskiy National Technical University, Mariupol, Russia), **Orlov A. A.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia)

DEVELOPMENT OF WEB APPLICATION ARCHITECTURE FOR OBJECT DETECTION ON X-RAY IMAGES OF WELDED JOINTS

The process of developing a web-application architecture for the automated detection of objects in X-ray images of welded joints using the YOLOv5 neural network model is examined. The project's structure is presented, including the server part, which is based on the asynchronous FastAPI framework, and the client interface, which is developed using HTML and JavaScript. The main stages of application operation are described: image loading, its preprocessing with the OpenCV library, model inference and returning results to the user in JSON format with subsequent visualization of detected objects. The self-explanatory and easy-to-use application interface provides image loading, its previewing, and real-time display of detection results. The application is deployed on a test server running Ubuntu 22.04 operating system. The test results confirmed the correct functioning of all system components and high accuracy of object detection. The potential of the proposed solution for automating X-ray image analysis using the decision support systems based on artificial intelligence technologies.

Key words: web application, YOLOv5, X-ray image, welded joint, identifying symbols, object detection, FastAPI, computer vision, neural model.

References

1. Sotnikov A. L., Mukhovaty A. A., Orlov A. A. Classification of non-destructive testing methods for copper welded joints obtained by friction stir welding [Klassifikatsiya metodov nerazrushayushchego kontrolya svarnykh soedineniy iz medi, poluchennykh svarkoj treniem s peremeshivaniem]. *Welding and Diagnostics*. 2022. No. 3. Pp. 19–24 DOI: 10.52177/2071-5234_2022_03_19. EDN UENENG
2. Kosach A. A., Kovshov E. E. Automation of nondestructive testing data processing based on artificial neural network [Avtomatizatsiya obrabotki dannykh nerazrushayushchego kontrolya na osnove iskusstvennoy nejronnoy seti]. *Cloud of Science*. 2018. Vol. 5. No. 3. Pp. 524–531. EDN XXYINV
3. Badalyan V. G., Vopilkin A. Kh. Application of neural networks in ultrasonic nondestructive testing (Review) [Primenenie nejronnykh setej v ul'trazvukovom nerazrushayushchem kontrole (Obzor)]. *Kontrol'. Diagnostika*. 2022. Vol. 25. No. 5. Pp. 12–25. DOI: 10.14489/td.2022.05.pp.012-025. EDN ALYROO
4. Kopylov D. A., Ageshin E. S., Khomutskaya O. V. Synthetic data generation for training of computer vision system [Formirovanie sinteticheskikh dannykh dlya obucheniya sistemy komp'yuternogo zreniya]. *Automation and Modelling in Design and Management*. 2022. No. 4 (18). Pp. 18–28. DOI: 10.30987/2658-6436-2022-4-18-28. EDN: BRJMSF
5. Bezhi A. A., Mazhei Ya. V. Application Architecture. What is it? What is it used for? Basic types and criteria of a good architecture [Arhitektura prilozhenij. Chem yavlyaetsya? Dlya chego ispol'zuetsya? Osnovnye vidy i kriterii horoshej arhitektury]. *Stolypinsky Vestnik*. 2022. No. 9. Pp. 4998–5008. EDN YAFIJQ
6. Egoryan V. V., Kalugin A. V. The role of architectural approach in software application development [Rol' arhitekturnogo podhoda pri razrabotke programmykh prilozhenij]. *Stolypinsky Vestnik*. 2022. No. 9. Pp. 5110–5122. EDN FDWPDW
7. Zhirenkin A. V., Staroselskiy A. K. Development of modern web applications architecture elements and their influence on development [Razvitie elementov arhitektury sovremennykh veb-prilozhenij i ih vliyanie na razrabotku]. *Vestnik Nauki*. 2023. No. 6 (63). Vol.3. Pp. 869–872. EDN ZNMGYR
8. Gorodnichev M. G., Polonskiy R. V. Evaluation of capability for using microservice architecture in developing client-server software user interfaces [Ocenka vozmozhnosti ispol'zovaniya mikroservisnoj arhitektury pri razrabotke pol'zovatel'skih interfejsov klient-servernogo programmnogo obespecheniya]. *Economics and Quality of Communication Systems*. 2020. No. 3. Pp. 33–43. EDN MBNNLI

9. Desyatov I. V., Svechnikov A. A., Kuznetsov A. V. *Web application architecture for evaluating user interfaces [Arhitektura veb-prilozheniya dlya ocenki pol'zovatel'skih interfejsov]*. Vestnik of Penza state university. 2024. No. 4. Pp. 31–34. EDN TVXEVT

10. Kenzhebai Ə. B. *Architecture and technology selection for a cab mobile app [Vybor arhitektury i tekhnologij dlya mobil'nogo prilozheniya taksi]*. In *The World Of Science and Education*. 2025. Pp. 42–45.

11. Zagumyonov A. A., Naumova V. V., Eryomenko V. S. *A cloud service for the multidimensional processing of quantitative data to solve geological problems [Oblachnyj servis mnogomernoj obrabotki kolichestvennyh dannyh dlya resheniya geologicheskikh zadach]*. Vestnik NSU. 2021. Vol. 19. No. 3. Pp. 40–49. DOI: 10.25205/1818-7900-2021-19-3-40-49. EDN EWGGBU

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sotnikov Aleksey Leonidovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgy Plants named after professor Sedush V. Ya. Donetsk National Technical University, Donetsk, Russia, e-mail: 0713019870@mail.ru

Kovalchik Roman Vladislavovich, PhD in Engineering, Senior Researcher of the Scientific Research Department Priazovskiy National Technical University, Mariupol, Russia

Orlov Andrei Andreievich, Senior lecturer of the Department of Metallurgical Complex Machines Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia