

# МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

## MODELLING OF METALLURGICAL PROCESSES

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)  
УДК 658.5  
DOI: 10.18503/1995-2732-2026-24-1-133-141



### АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ НАХОЖДЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ ДЛИН ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛА ВРАЩЕНИЯ НА ЧЕРТЕЖАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Кузнецов С.В., Роговик А.А.

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия

**Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы).** На данный момент инструменты компьютерного зрения и нейронные сети получают все большее распространение во всех областях и сферах деятельности человека. Сейчас их уже активно применяют в технике, медицине, образовании, создании различных предметов искусства и в других направлениях деятельности. Не остаётся в стороне и машиностроительная область, где их также активно внедряют. В качестве одного из направлений возможного применения нейронных сетей для машиностроения предлагается применение моделей для распознавания объектов на изображениях и видео для работы с чертежами. Данный подход позволит существенно сократить трудозатраты при подготовке документации для запуска изделия в производство применительно к предприятиям, имеющим детали типа тела вращения в своей производственной номенклатуре, что является актуальным, новым и перспективным в условиях современного производства. **Цель работы.** Главной целью работы являлось создание модели на основе нейронной сети, способной эффективно находить на чертеже область, содержащую длину деталей типа тел вращения, с дальнейшим созданием программы для ЭВМ, использующей данную модель и повышающую её эффективность и практическую применимость. **Используемые методы.** В ходе выполнения работы было использовано несколько основных методов: обучения и работы с моделью для распознавания объектов на изображении и видео; написания программ для ЭВМ на языке программирования Python; оптического распознавания текста. **Результат.** Результатом данной работы стало создание программы для ЭВМ, которая способна с высокой эффективностью находить на чертеже область, содержащую длину детали, считывать текст с этой области, который является значением длины, и заносить результаты в таблицу в редактируемом формате. **Практическая значимость.** Данная программа имеет существенные перспективы практического применения, так как она сможет помочь автоматизировать планирование производства деталей типа тела вращения, например, при определении нормы расхода материала на детали или при проверке габаритов при назначении используемого для их изготовления оборудования и группировании.

**Ключевые слова:** YOLOv5, EasyOCR, чертежи, токарная обработка, детали типа тел вращения, детекция объектов, нейронные сети, распознавание объектов, компьютерное зрение

© Кузнецов С.В., Роговик А.А., 2026

#### Для цитирования

Кузнецов С.В., Роговик А.А. Автоматизированное нахождение и распознавание длин деталей типа тела вращения на чертежах с использованием инструментов компьютерного зрения // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2026. Т. 24. №1. С. 133-141. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2026-24-1-133-141>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

# AUTOMATED DETECTION AND RECOGNITION OF LENGTHS OF ROTATIONAL PARTS IN TECHNICAL DRAWINGS USING COMPUTER VISION TOOLS

Kuznetsov S.V., Rogovik A.A.

Nizhny Novgorod State Technical University named after R.A. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract. Problem Statement (Relevance).** At the moment, computer vision tools and neural networks are becoming increasingly widespread in all fields and spheres of human activity. They are already used in technology, medicine, education, the creation of various art objects and in other activity areas. The mechanical engineering industry is also actively implementing them. As one of the possible applications of neural networks for mechanical engineering, it is proposed to use models for recognizing objects in images and videos for working with drawings. This approach will significantly reduce labor costs when preparing documentation for launching the product into production. This applies to enterprises that have rotational parts in their production range, which is relevant, new and promising in modern production conditions. **Objectives.** The work is aimed at creating a model based on a neural network capable of efficiently detecting an area in a drawing containing the length of rotational parts with the further creation of a computer program using this model and increasing its efficiency and practical applicability. **Methods Applied.** In the course of the work, several basic methods have been used: learning and working with a model for recognizing objects in images and videos; writing computer programs in the Python programming language; optical text recognition. **Result.** The paper presents a computer program that is capable of efficiently detecting an area in a drawing containing the length of a part, reading text from this area, which is the length value, and entering the results into a table in an editable format. **Practical Relevance.** This program has significant prospects for practical application because it can help automate the planning of the production of rotational parts, for example, when determining the consumption rate of materials per part or when checking the dimensions when assigning equipment used for their manufacture and grouping.

**Keywords:** YOLOv5, EasyOCR, drawings, turning, rotational parts, object detection, neural networks, object recognition, computer vision

## For citation

Kuznetsov S.V., Rogovik A.A. Automated Detection and Recognition of Lengths of Rotational Parts in Technical Drawings Using Computer Vision Tools. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2026, vol. 24, no. 1, pp. 133-141. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2026-24-1-133-141>

## Введение

В современном машиностроении четко прослеживается тенденция ухода от человеческого труда при реализации различных производственных процессов и инженерных работ. Это становится возможным благодаря многим факторам, основным из которых является появление новых технических и технологических возможностей и решений, способствующих повышению производительности труда. Поиск и внедрение таких решений являются одними из основных задач, которые стоят перед специалистами в области машиностроения и, в частности, механической обработки.

Одним из таких технических и технологических решений является применение нейронных сетей. На данный момент их применение становится все более и более распространенным, так как они уже доказали свою эффективность и показали явные преимущества их использования. Некоторые возможности их применения можно увидеть в работах [1-5].

На данный момент нейронные сети уже применяются в машиностроении для выполнения таких функций, как:

- разработка различных инженерных продуктов;
- назначение режимов резания материалов;
- онлайн-сопровождение процесса обработки резанием металлов;
- автоматическое управление технологическими процессами для возможности их адаптивного проведения;
- отслеживание работоспособности оборудования и прогнозирования времени его отказа.

В представленной работе описано одно из перспективных направлений возможного применения нейронных сетей, а именно моделей, созданных для распознавания объектов на изображениях и видео. В перспективе полученный результат сможет позволить существенно сократить затраты труда инженеров по планированию производства на предприятиях, которые имеют детали типа тела вращения в своей производственной номенклатуре.

Целью работы является создание модели на основе нейронной сети, способной эффективно определять длину деталей типа тела вращения на чертежах, с дальнейшим созданием программы для ЭВМ, использующей данную модель, которая способна по-

вышать её эффективность и возможности практического применения.

Основные функции полученного программного обеспечения:

- нахождение области, содержащей длину детали на чертеже при помощи модели для распознавания объектов на изображениях;
- распознавание значений длин при помощи инструмента оптического распознавания символов;
- корректировка полученных результатов;
- занесение результатов в таблицу.

В ходе создания описанной программы было использовано несколько основных инструментов и методов:

- методы обучения и работы с моделью для распознавания объектов на изображениях и видео;
- методы написания программ для ЭВМ на языке программирования Python;
- методы оптического распознавания текста.

На этапе анализа имеющейся информации по работе с нейронными сетями были рассмотрены ранее опубликованные работы, посвященные этой теме [6-8]. Особое внимание в них было уделено информации, посвященной работе с моделями для распознавания объектов на изображениях и видео, так как одним из важнейших этапов описанной в данной статье работы был выбор модели.

Вначале было рассмотрено несколько различных моделей, которые имеют открытый исходный код, такие как, например, YOLO (You Only Look Once), SSD (Single Shot Detector) и Mask R-CNN. В итоге для работы была взята модель YOLO версии 5. Данная модель основана на нейронных сетях и хорошо зарекомендовала себя для решения задачи по нахождению объектов на графических изображениях. YOLOv5 (You Only Look Once version 5) обеспечивает одну из самых высоких скоростей работы и точность детекции объектов. Этот алгоритм успешно применяется в различных областях, включая обнаружение объектов на изображениях и видео. Данная нейронная сеть основана на архитектуре DarkNet, которая изначально разрабатывалась для задач компьютерного зрения. Преимущества и способы работы с моделью YOLO были описаны в статьях [9, 10].

В качестве инструмента для распознавания текста была использована библиотека оптического распознавания символов (OCR) с открытым исходным кодом, разработанная компанией Jaided AI – EasyOCR и являющаяся наиболее доступной и показывающей высокую точность распознавания символов. Преимущества оптического распознавания символов были описаны в работах [11-13]. Данная библиотека предназначена для извлечения текста из изображений и сканированных документов с высокой точностью. EasyOCR поддерживает более 80 языков, включая английский, китайский, арабский и др. Также стоит отметить, что она способна распознавать необходи-

мые нам символы – цифры и буквы латинского алфавита.

Основные преимущества работы данной библиотеки:

- открытый исходный код;
- простота использования, так как для работы необходимо всего несколько строк кода;
- наличие предварительно обученных моделей глубокого обучения, которые могут эффективно распознавать текст в различных языках и шрифтах;
- возможность работы с изображениями низкого качества.

Если говорить о новизне работы и имеющихся аналогах, то после проведенного анализа можно с уверенностью сказать, что подобные изыскания никем ранее не проводились.

Разработанная программа имеет хорошие перспективы для практического применения, так как способна помочь автоматизировать планирование производства деталей типа тела вращения, таких как валы, оси, фланцы, втулка, диски и др. Перспективы применения нейронных сетей в этой области ранее были описаны в работах [14, 15].

Данный метод может быть использован, например, для определения нормы расхода материала на деталь, проверки габаритов при назначении используемого для ее изготовления оборудования. Также данный продукт может быть полезен при сортировке и группировании деталей, так как длина является одной из основных характеристик детали, а преимущества группирования были описаны в ранее опубликованных работах [16-18].

Исходя из вышесказанного, можно сказать, что данная работа может быть интересна представителям предприятий единичного и серийного производства, которые имеют достаточную производственную номенклатуру, состоящую из деталей типа тела вращения, таких как валы, оси, фланцы, втулка, диски и др.

#### Этапы проведения работы по созданию модели

*Первый и один из самых главных этапов* – это сбор данных для обучения модели. То есть создание DataSet – набора изображений для машинного обучения. Создание DataSet является одним из основных этапов обучения модели, так как именно от его корректности зависит точность модели, а также качество и смысл всей дальнейшей работы.

При создании описанной модели DataSet корректировался несколько раз для обеспечения приемлемых показателей точности. Во время данных изменений было выявлено два основных правила для успешного обучения модели для нахождения длин токарных деталей.

Первое правило заключается в том, что DataSet должен содержать примерно равное количество различных типов деталей тел вращения. Были выделены три основных группы по соотношению длины  $L$  и наибольшего наружного диаметра  $D$ :

–  $L$  до  $0,5D$  включительно. К этой группе относятся детали типа: фланцы, катушки, кольца, диски и др. (рис. 1, в).

–  $L$  свыше  $0,5$  до  $2D$  включительно. К этой группе относятся детали типа: втулки, катушки, шкивы и др. (рис. 1, б).

–  $L$  свыше  $2D$ . К этой группе относятся детали типа: валы, шпиндели, оси, штоки и др. (рис. 1, а).

Типовые представители трех данных групп представлены на рис. 1.

Второе правило состоит в том, что DataSet должен содержать примерно равное количество деталей с различным способом указания полей допусков размеров для их длин. А именно включать в себя:

- условное обозначение полей допусков (рис. 2, а);
- указание числовых значений предельных отклонений (рис. 2, б);
- условное обозначение полей допусков с указанием их числовых значений (рис. 2, в);
- размеры с неуказанными полями допусков (рис. 2, г).

В итоге было собрано 750 изображений чертежей в различных форматах (JPEG, JPG, PNG), с которыми работает модель YOLOv5. Далее они были разделены на две группы: тренировочный и валидационный (проверочный) наборы в соотношении 80 и 20%. Тренировочный набор составил 600 изображений, валидационный – 150 изображений.

Конечный этап создания DataSet – это разметка изображений, то есть создание для каждого изображения такого файла, который содержит информацию о координатах на изображении, содержащих в себе искомый объект.

Все изображения были размечены для обучения YOLO в специально предназначенной для этого программе. Примеры отображения размеченных областей представлены на рис. 3.

Таким образом, при разметке выбираем область, которая содержит длину детали. В результате полученная модель должна будет выделять подобным образом на валидационном и тестовом наборе чертежей области, которые, по её мнению, содержат длину детали.

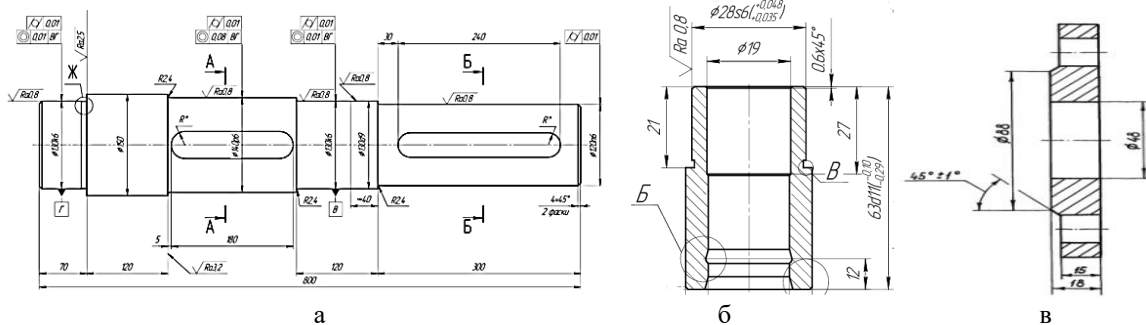


Рис. 1. Типовые представители групп деталей из DataSet  
Fig. 1. Typical representatives of details groups from the DataSet



Рис. 2. Способы обозначения полей допусков размеров  
Fig. 2. Methods of marking dimensional tolerance fields

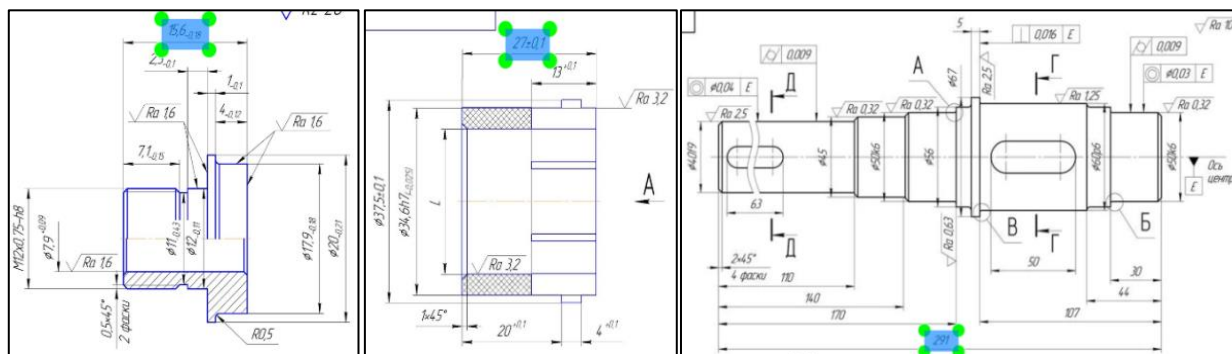


Рис. 3. Примеры размеченных изображений из DataSet  
Fig. 3. Examples of marked up images from the DataSet

Второй этап – это обучение модели YOLOv5, предварительно обученной идентифицировать некоторые определенные виды объектов, находить области, содержащие длины деталей типа тела вращения на чертежах. Обучение производилось на наборе данных, сбор которых был описан на первом этапе.

Исходные данные для обучения модели выглядели следующим образом:

- разрешение изображений по большей стороне – 960;
- количество шагов – 16;
- количество эпох обучения – 30.

На рис. 4 представлена выборка из валидационной части DataSet, которую обработала модель во время обучения. Выборка взята из эпохи обучения с

наилучшими результатами. На рисунке видно, как модель находила и выделяла области, содержащие длины деталей. Также можно заметить, что на части изображений модель выделяет несколько значений, далее эта проблема будет решена в разделе «Создание программы для ЭВМ» путем выбора максимального из предложенных значений.

После обучения получаем файл готовой модели, которая состоит из 157 слоев и 7012822 параметров. Четыре основных показателя эффективности, которые применяют для оценки получающихся моделей YOLO, представлены в таблице.

На рис. 5 можно увидеть графики, которые показывают, как изменялись значения четырех основных показателей во время всех четырех эпох обучения.

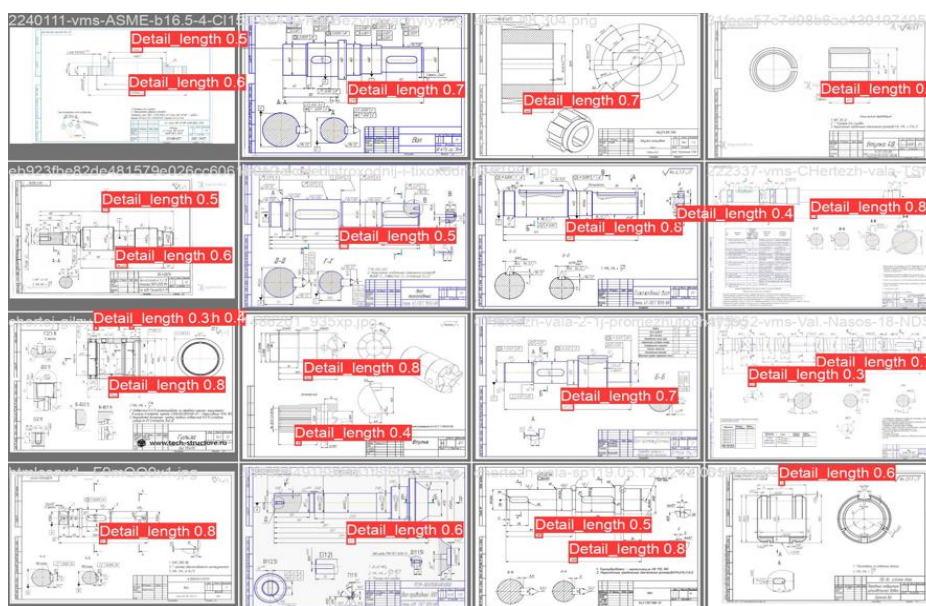


Рис. 4. Примеры чертежей деталей из валидационного набора данных с полученными во время обучения модели результатами

Fig. 4. Examples of drawings of parts from the validation dataset with the results obtained during model training

Таблица. Показатели эффективности обученной модели

Table. Performance indicators of the trained model

Точность модели P	Отзывчивость модели R	Средняя точность при 50% порог IoU mAP50	Среднее значение средней точности, определяемое на степенях перекрытия от 0,50 до 0,95, mAP50-95
0,852	0,796	0,879	0,452

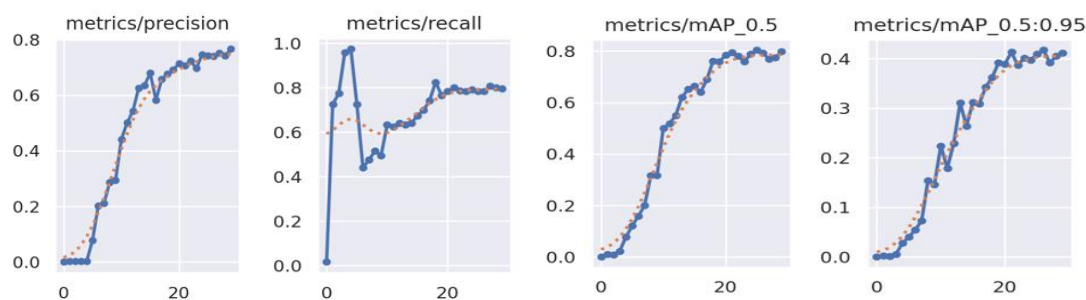


Рис. 5. Графики изменения основных показателей модели во время эпох обучения

Fig. 5. Graphs of changes in key model indicators over training epochs

Третий этап – это оценка качества полученной модели по четырем показателям эффективности и дальнейший её тест на случайной выборке данных. Значения для оценки (P, R, mAP50, mAP50-95) представлены в **таблице**.

Первый оцениваемый показатель P – это точность полученной модели, которая показывает, сколько объектов в валидационном наборе было определено правильно. Полученное значение 0,852 является весьма высоким, так как приемлемым считается значение 0,7.

Второй показатель R – это отзывчивость. Показывает способность модели находить все экземпляры объектов на данных изображениях. Также считается хорошим показателем больше 0,7, мы имеем 0,796.

Третий показатель mAP50 – средняя точность при 50% пороге IoU. Приемлемым результатом является значение, превышающее 0,5, следовательно, полученное значение 0,879 является хорошим.

Четвертый показатель mAP50-90 – среднее значение средней точности, которое определяется на разных степенях перекрытия от 0,50 до 0,95. Здесь приемлемый показатель должен быть выше 0,3, полученная модель имеет 0,452.

После анализа полученных характеристик и графиков был произведен тест полученной после обучения модели на специально подготовленном для этого наборе данных, состоящем из 20 случайных чертежей. Данный тестовый набор был обработан моделью YOLO. В результате были получены следующие результаты:

1) на 18 из 20 чертежей области, содержащие длину детали, были найдены;

2) большинство чертежей были обработаны корректно, как это показано на **рис. 6, а**, но на 4 из 18 были дополнительно выделены и другие размеры, не являющиеся длиной детали, как показано на **рис. 6, б**.

Таким образом, исходя из значений четырех рассмотренных характеристик и результатов теста, можно сказать, что модель способна довольно эффективно находить большинство областей на чертежах, содержащих длину деталей типа тел вращения. Также

стоит отметить, что имеет место быть типовая ошибка, когда модель дополнительно выделяет области, которые являются обычным линейным размером с чертежа, а не длиной, что может помешать дальнейшему использованию модели в практических целях. В следующей части статьи указано решение данной проблемы.

### Создание программы для ЭВМ

После создания модели и её тестирования была разработана программа, которая при помощи данной модели может находить длины деталей типа тела вращения на чертежах.

Основные функции разработанной программы:

1) при помощи обученной на предыдущем этапе модели находить координаты областей, содержащих длину детали (по мнению модели);

2) получение вырезанием по координатам нового изображения, которое содержит только длину детали;

3) изменение характеристик вырезанного изображения для повышения точности работы EasyOCR;

4) считывание текста с изображения при помощи EasyOCR;

5) корректировка полученного текста (удаление части, содержащей информацию о полях допусков, и округление числа до целого);

6) проверка того, что на чертеже могло быть найдено несколько областей, содержащих длину (по мнению модели), выбор максимального полученного значения после обработки EasyOCR и корректировки (то есть получение окончательного значения длины детали);

7) занесение данных в документ в формате Excel;

8) последовательное выполнение всех вышеперечисленных функций для каждого чертежа из рабочей папки.

На **рис. 7** показан результат обработки программой представленного чертежа, который показывает, как после обработки выбирается истинное значение длины детали.

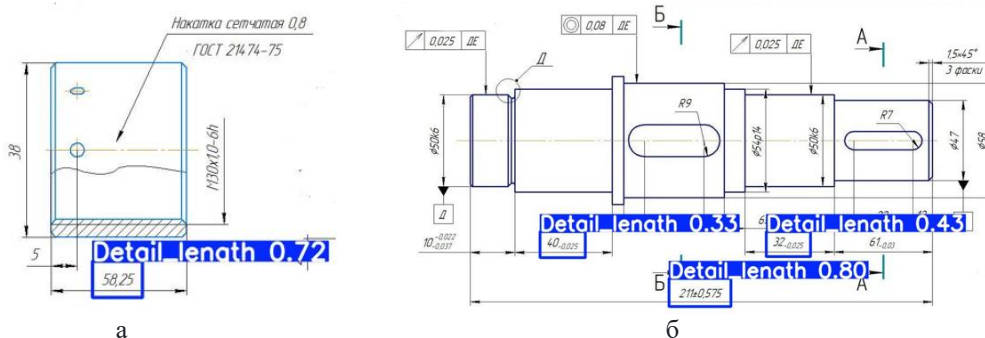


Рис. 6. Примеры обработанных деталей из тестового набора чертежей  
Fig. 6. Examples of processed parts from the test set of drawings

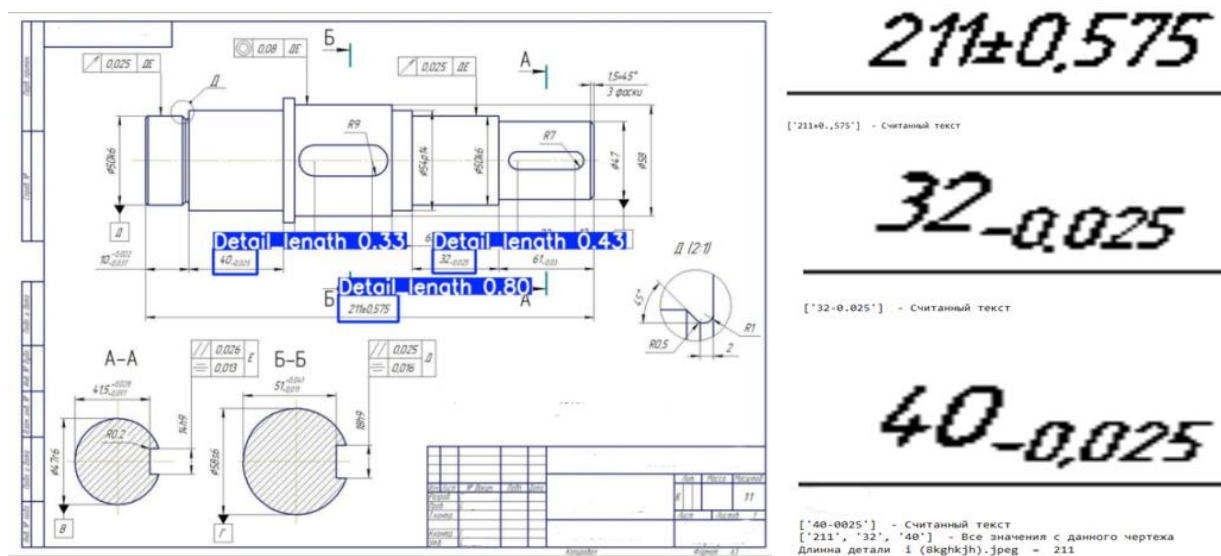


Рис. 7. Результат обработки одного из чертежей из тестового набора, выведенный пользователю разработанной программой

Fig. 7. The result of processing one of the drawings from the test set displayed to the user by the developed program

Конечным этапом работы стало выполнение теста полученной программы с применением обученной нами модели для обнаружения длин на тестовом наборе данных, состоящем из 20 случайных изображений чертежей токарных деталей. После обработки этих изображений был получен Excel-файл, содержащий название изображения и его длину. Программа вывела 18 из 20 длин деталей типа тела вращения. Все 18 полученных значений были определены правильно. Исходя из этого, можно сказать, что программа существенно повысила точность модели и возможность её практического применения.

### Заключение

Можно определенно сказать, что полученная модель, основанная на модели для распознавания объектов на фото и видео на основе нейронной сети YOLOv5, может весьма эффективно находить области, содержащие длину детали на большинстве чертежей деталей типа тел вращения, таких как валы, фланцы, втулки, шкивы, пальцы, кольца, диски и т.п. Данный вывод был сделан после анализа четырех полученных после обучения характеристик и теста модели.

Характеристики показали, что модель является довольно перспективной для применения её в работе с чертежами деталей типа тела вращения, так как полученные в ходе работы показатели являются высокими относительно значений, которые считаются хорошими при определении качества полученной модели YOLO. Также был выполнен тест полученной модели, где она показала свою работоспособность, обнаружив 18 из 20 искомых объектов.

Разработанная программа для ЭВМ показала способность значительно повышать эффективность модели, а именно точность определения объекта путем исключения типовой ошибки, когда модель находит и выделяет области, которые являются обычным линейным размером с чертежа, а не длиной. Кроме того, программа существенно повышает практическую значимость описанной работы, так как она позволяет использовать полученную модель для работы с чертежами в автоматизированном режиме, когда на выходе пользователь получает файл формата Excel, содержащий в себе результаты работы модели и программы, готовый к дальнейшей работе в тех или иных целях.

В дальнейшем полученные результаты имеют хорошие перспективы для их практического применения, так как разработанная модель и программа способны помочь частично автоматизировать планирование производства деталей типа тела вращения. Если разобрать конкретные варианты применения разработки, то она может быть использована для определения нормы расхода материала на деталь, проверки габаритов используемого для их изготовления оборудования и при сортировке и группировании деталей.

Исходя из вышесказанного, можно утверждать, что результат работы может быть интересен представителям предприятий единичного и серийного производства, которые имеют производственную номенклатуру, включающую большое количество деталей типа тела вращения.

Список источников

1. Суздалева Н.Н. Потенциал использования нейросетей промышленными предприятиями в условиях российской действительности // Региональная и отраслевая экономика. 2022. №11 (173). С. 91-94.
2. Алтунина К.А., Соколова М.В. Применение нейронных сетей для моделирования процесса токарной обработки // Вестник ТГТУ. 2016. Т. 22. № 1. С. 122-133.
3. Сверточные нейронные сети для выявления дефектов и поврежденный конструкций Степанов Д.В., Макаров А.В., Молотов А.М., Облетов Е.Н. // Промышленное и гражданское строительство. 2024. № 9. С. 52-58.
4. Веретельников А.С., Гавлицкий А.И. Применение искусственного интеллекта в металлообрабатывающей промышленности // Электронный научный журнал «Дневник науки». 2022. №12(72).
5. Алханов А.А. Машинное обучение и его применение в современном мире // Проблемы науки. 2021. №7 (66). С. 25-27.
6. Redmon J., Farhadi A. YOLO9000: Better, Faster, Stronger // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2017, pp. 7263–7271.
7. Redmon J., Shooji F., Farhadi A. YOLOv5 Training and Improving Object Detectors and Segmentation Models with One Click // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2022, pp. 962–972.
8. Feature Pyramid Networks for Object Detection / Lin T.-Y., Dollár P., Girshick R., He K., Hariharan B., Belongie S. // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2017, pp. 936–944.
9. Bochkovskiy A., Wang C. YOLOv5: Creating State-of-the-Art Object Detectors in Real Time. [S. 1.] // ArXiv. 2021, pp. 214–219.
10. Bochkovskiy A. YOLOv7: Trainable Boosted Data-Driven Layer for Real-Time Object Detection. [S. 1.] // ArXiv. 2023, pp. 5147–5155.
11. Давлетов А.Р. Современные методы машинного обучения и технология OCR для автоматизации обработки документов // Вестник науки. 2023. №10. С. 676-698.
12. Hamdi A. OCR with Tesseract, Amazon Textract, and Google Document AI: a benchmarking experiment // Journal of Computational Social Science. 2022, no. 5(1), pp. 861–882.
13. Improving the Accuracy of Tesseract 4.0 OCR Engine Using Convolution-Based Preprocessing / Patel D., et al. // Symmetry. 2020, no. 12(5), pp. 715.
14. Кузнецов С.В., Роговик А.А. Перспектива применения нейронных сетей для планирования загрузки участка механической обработки // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2024. № 9. С. 115-117.
15. Кузнецов С.В., Роговик А.А. Группирование деталей тел вращения типа диск и ему подобных при планировании их изготовления с целью увеличения серийности производства // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2025. Т. 28, №1. С. 24–32. DOI: 10.22213/2413-1172-2025-1-24-32.
16. Митрофанов С.П. Научная организация машиностроительного производства. Ленинград: Машиностроение, 1976. 712 с.
17. Определение коэффициентов штучного времени деталей типа “вал” на основе их подобия / Кузнецов С.В., Аносов М.С., Роговик А.А., Муругов Ю.С. / Научно-технический вестник Поволжья. 2024. № 6. С. 72-75.

References

1. Suzdaleva N.N. The potential of using neural networks by industrial enterprises in the context of Russian reality. *Regionalnaya i otraslevaya ekonomika* [Regional and sectoral economics]. 2022;(11(173)):91-94. (in Russ.)
2. Altunina K.A., Sokolova M.V. Application of neural networks for modeling the turning process. *Vestnik TGTU* [Bulletin of TSTU]. 2016;22(1):122-133. (in Russ.)
3. Stepanov D.V., Makarov A.V., Molotov A.M., Bolotov E.N. Convolutional neural networks for detecting defects and damage to structures. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo* [Industrial and civil engineering]. 2024;(9):52-58. (in Russ.)
4. Veretelnikov A.S., Gavlitsky A.I. Application of artificial intelligence in the metalworking industry. *Elektronniy nauchniy zhurnal «Dnevnik nauki»* [Electronic scientific journal "Diary of Science"]. 2022;(12(72)). (in Russ.)
5. Alkhanov A.A. Machine learning and its application in the modern world. *Problemy nauki* [Problems of Science]. 2021;(7(66)):25-27. (in Russ.)
6. Redmon J., Farhadi A. YOLO9000: Better, Faster, Stronger. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2017;7263-7271.
7. Redman J., Shoji F., Farhadi A. YOLOv5 Training and Improving Object Detector and Segmentation Models with One Click. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2022;962-972.
8. Sin T.-Y., Dollar P., Girshick R., He K., Hariharan B., Belongie S. Feature Pyramid Networks for Object Detection. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2017;936-944.
9. Bochkovsky A., Wang C. Yellow 5: Creating State-of-the-Art Object Detector in Real Time. S. 1. ArXiv. 2021;214-219.
10. Bochkovsky A. YOLOv7: Trainable Boosted Data-Driven Layer for Real-Time Object Detection. S. 1. ArXiv. 2023;5147-5155.
11. Davletov A.R. Modern machine learning methods and OCR technology for document processing automation. *Vestnik nauki* [Bulletin of Science]. 2023;(10):676-698. (in Russ.)
12. Hamdi A. OCR with Tesseract, Amazon Textract, and Google Document AI: a benchmarking experiment. *Journal of Computational Social Science*. 2022;(5(1)):861-882.
13. Patel D. Improving the Accuracy of Tesseract 4.0 OCR Engine Using Convolution-Based Preprocessing. *Symmetry*. 2020;(12(5)):715.
14. Kuznetsov S.V., Rogovik A.A. The prospect of using neural networks to plan the loading of a machining site. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2024;(9):115-117. (in Russ.)
15. Kuznetsov S.V., Rogovik A.A. Grouping rotation bodies of “disc” and similar type when planning their manufacture to increase the serial production. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova* [Bulletin of Kalashnikov Izhevsk State Technical University]. 2025;28(1):24-32. (in Russ.) DOI: 10.22213/2413-1172-2025-1-24-32

16. Mitrofanov S.P. *Nauchnaya organizatsiya mashinostroitel'nogo proizvodstva* [Scientific organization of machine-building production]. Leningrad. Mashinostroenie, 1976, 712 p. (in Russ.)
17. Kuznetsov S.V., Anosov M.S., Rogovik A.A., Murugov Yu.S. Determination of the unit time coefficients of "shaft" type parts based on their similarity. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzhya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga region]. 2024;(6):72-75. (in Russ.)

Поступила 09.10.2025; принята к публикации 01.12.2025; опубликована 31.03.2026  
Submitted 09/10/2025; revised 01/12/2025; published 31/03/2026

**Кузнецов Сергей Викторович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машиностроительные технологические комплексы»,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия.  
Email: ks251072@yandex.ru. ORCID 0009-0004-9532-1671

**Роговик Артем Алексеевич** – аспирант,  
Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия.  
Email: artem-rogovik@mail.ru. ORCID 0009-0004-4099-7324

**Sergey V. Kuznetsov** – PhD (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Machine-building technological complexes,  
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.A. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia.  
Email: ks251072@yandex.ru . ORCID 0009-0004-9532-1671

**Artem A. Rogovik** – Postgraduate Student,  
Nizhny Novgorod State Technical University named after R.A. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia.  
Email: artem-rogovik@mail.ru . ORCID 0009-0004-4099-7324