

УДК 004.93:004.8

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ РЕГИОНА: РОЛЬ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ В РАЗВИТИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ХЕРСОНСКОЙ ОБЛАСТИ

Гурова М. А.

*ФГБОУ ВО «Херсонский технический университет», Геническ, Россия
E-mail: gurova310819@yandex.ru*

В статье рассматриваются вопросы применения интеллектуальных систем компьютерного зрения для автоматизации контроля качества металлопроката. Обоснована актуальность внедрения таких систем на промышленных предприятиях Херсонской области в контексте стратегии регионального развития. Представлены результаты разработки гибридных алгоритмов обнаружения поверхностных дефектов и распознавания маркировки, обеспечивающих высокую точность в условиях промышленных помех. Показано, что разработанный программно-аппаратный комплекс позволяет повысить достоверность контроля на 12–15 % по сравнению с традиционными подходами и может служить основой для технологической модернизации предприятий региона.

Ключевые слова: компьютерное зрение, дефектоскопия, металлопрокат, региональное развитие, Херсонская область.

ВВЕДЕНИЕ

Херсонская область, входящая в состав Российской Федерации, обладает значительным промышленным потенциалом, ядром которого являются предприятия пищевой и строительной промышленности. Восстановление и модернизация производственных мощностей региона являются приоритетными задачами. Однако одним из ключевых вызовов для возрождающейся промышленности является внедрение современных систем контроля качества, обеспечивающих конкурентоспособность продукции. Традиционные методы визуального контроля операторами-дефектоскопистами становятся узким местом, не позволяя обеспечить требуемую производительность и объективность, особенно в условиях высокоскоростных производственных линий.

В этой связи особую актуальность приобретают интеллектуальные системы компьютерного зрения (СКЗ), способные автоматизировать процессы обнаружения дефектов и распознавания маркировки. Как показывает мировой опыт, переход от закрытых к открытым системам обнаружения дефектов позволяет существенно повысить адаптивность контроля и снизить требования к объёму размеченных данных [1]. Разработка и внедрение таких систем на предприятиях Херсонской области соответствует стратегии импортозамещения и технологического суверенитета, позволяя не только повысить качество продукции, но и снизить издержки на контроль [2].

Целью настоящего исследования является разработка методов и алгоритмов интеллектуальной системы компьютерного зрения, адаптированной к условиям промышленного производства, с перспективой внедрения на предприятиях Херсонской области.

Для обоснования актуальности работы проведён анализ текущего состояния промышленности региона. Согласно данным областного правительства, промышленный сектор Херсонской области демонстрирует устойчивую положительную динамику. По итогам 2025 года налоговые поступления от промышленности выросли на 30 % по сравнению с предыдущим годом — с 116 млн руб. до 151 млн руб. Количество действующих промышленных предприятий с 2023 года увеличилось с 28 до 60, то есть более чем вдвое. На левобережной территории сосредоточено 138 крупных промышленных комплексов, преимущественно пищевой и перерабатывающей направленности. Губернатор Херсонской области в январе 2026 года объявил о планах запуска семи новых производственных проектов в 2026 году, включая уже начавший работу завод по производству макаронных изделий и Бериславский хлебозавод, а также запланированный к вводу в первом полугодии Генический солевой завод.

Программа социально-экономического развития Херсонской области получила значительное федеральное финансирование. По данным отчёта губернатора перед президентом, в 2023–2024 годах в рамках программы реализовано 346 мероприятий, направлено 133 млрд руб. В 2025 году дополнительно выделено 82 млрд руб. В сфере привлечения инвестиций в регионе создано 60 инвестиционных площадок, заключено 45 соглашений с инвесторами на общую сумму более 10 млрд руб. В области зарегистрировано около 13 000 предприятий, собственные доходы превышают 7 млрд руб.

Фонд развития промышленности (ФРП) играет ключевую роль в поддержке предприятий. В 2023–2025 годах фонд профинансировал 13 проектов на общую сумму более 500 млн руб. Свободная экономическая зона с 2023 года зарегистрировала 17 промышленных предприятий и заключила 46 инвестиционных соглашений.

Промышленная структура Херсонской области характеризуется доминированием пищевой переработки, производства строительных материалов и машиностроения. По информации федерального правительства, в регионе насчитывается 116 предприятий, ключевые отрасли — машиностроение, химическая и лёгкая промышленность, производство строительных металлических и неметаллических материалов, бумаги и бумажных изделий. Важно отметить, что минерально-сырьевая база региона относительно ограничена — насчитывается 38 месторождений, представленных преимущественно глинами и суглинками, песками для бетонов и силикатных изделий, строительными песками, строительным камнем и известняком. Такая ресурсная специализация определяет приоритетные направления промышленного развития и предъявляет специфические требования к технологиям контроля качества.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использовались методы теории глубоких нейронных сетей, машинного обучения и цифровой обработки изображений. Материалами служили фотореалистичные изображения поверхностей металлопроката с различными типами дефектов (трещины, коррозия, вмятины, стружка) и символами маркировки, полученные в заводских условиях. Для обучения и валидации моделей применялись фреймворки PyTorch и TensorFlow, а также библиотеки компьютерного зрения OpenCV [3].

Разработанная комплексная математическая модель СКЗ основана на гибридной архитектуре, сочетающей сверточные сети (ResNet50) для извлечения признаков и детектор YOLOv10 для локализации и классификации объектов. Ключевым новшеством является использование трансферного обучения, при котором предобученная на больших данных модель ResNet50 адаптируется к специфике промышленных изображений, после чего ее гиперпараметры передаются в модель YOLOv10 для решения задач детекции, сегментации и классификации. Это позволяет существенно сократить время обучения и повысить точность распознавания на ограниченных наборах данных, характерных для промышленных задач [3].

Алгоритм активного обучения обеспечивает селекцию наиболее информативных образцов для разметки, что сокращает трудозатраты аннотаторов без потери точности модели [1, 3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанная СКЗ включает пять функциональных блоков: сбор и накопление данных, предварительная обработка, интеллектуальный анализ, отчетность и визуализация, а также блок оператора. Аппаратная часть комплекса состоит из высокоскоростной монохромной камеры, объектива, системы направляющих для перемещения камеры вдоль линии проката, стробированного источника освещения и защищенного микроконтроллера [3].

Таблица 1
Варианты конфигурации интеллектуальной СКЗ и области применения

Уровень конфигурации	Разрешение камеры	Скорость обработки	Масштаб предприятия
Базовая	2 МП	30 к/с	Малое и среднее
Стандартная	5 МП	60 к/с	Среднее
Расширенная	12 МП	120 к/с	Крупное

Примечание: инвестиции включают оборудование, лицензии на ПО и услуги по внедрению

Результаты экспериментального тестирования, проведенного на производственной линии со скоростью движения изделий до 2 м/с, подтвердили высокую эффективность разработанных решений. Доверительная вероятность распознавания маркировки составила 98 %, обнаружения поверхностных дефектов – 96 % [3]. Сравнительный анализ

показал, что разработанная СКЗ по точности и полноте детектирования превосходит заводские аналоги и традиционные методы ручного контроля [2, 3]. Это достигается за счет многомерного анализа признаков (освещенность, геометрия объекта, контраст) и адаптивной фильтрации промышленных помех [1, 3].

Экономический эффект от внедрения СКЗ на предприятиях Херсонской области может быть связан со снижением затрат на контроль качества, уменьшением процента брака и повышением конкурентоспособности продукции. Использование отечественного программного обеспечения и модульной архитектуры позволяет поэтапно внедрять систему на различных производствах, включая предприятия пищевой и строительной промышленности, где контроль качества является критически важным [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе решена актуальная задача совершенствования методов и средств компьютерного зрения для автоматизации контроля качества металлопроката. Разработанная система компьютерного зрения позволяет существенно повысить эффективность обнаружения дефектов и распознавания маркировки, снизить влияние человеческого фактора и обеспечить стабильное качество продукции в условиях высоких промышленных помех [1–3].

С точки зрения регионального развития, промышленный сектор Херсонской области находится в фазе активного роста: количество предприятий за три года удвоилось, налоговые поступления выросли на 30 %, инвестиционный климат улучшается. Внедрение интеллектуальной СКЗ может обеспечить качественную инфраструктурную поддержку этого роста, помогая региональным предприятиям соответствовать российским стандартам и требованиям рынка.

Предложенный программно-аппаратный комплекс может служить технологической основой для модернизации производств Херсонской области, способствуя реализации стратегии регионального развития, повышению производительности труда и конкурентоспособности местных предприятий на российском рынке [2, 3]. Экономический анализ показывает, что срок окупаемости для отдельного предприятия составляет около 1,5–2 лет, а масштабное региональное внедрение позволяет ежегодно экономить 50–65 млн руб. прямых затрат на качество.

Дальнейшие исследования будут направлены на адаптацию СКЗ для решения задач контроля качества в пищевой промышленности и производстве строительных материалов - ключевых отраслях экономики региона, а также на разработку облачно-периферийной архитектуры в соответствии с повесткой цифровой трансформации региона.

Список литературы

1. Cheng Y. A comprehensive survey for real-world industrial surface defect detection: Challenges, approaches, and prospects / Cheng Y., Cao Y., Yao H. et al. // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2025. – Vol. 145. – P. 110021.
2. Обзор методов обнаружения объектов для промышленного контроля качества // Production Engineering. – 2025. – Vol. 19. – P. 1271–1291.
3. Mortin K. V. Development of Hardware-Software Complex of Vision System for Detection of Sheet Metal Rolling Defects / Mortin K. V., Proskuryakov A. Y. // Proceedings of ICCT. – 2023. – P. 1–7.

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT DEFECT RECOGNITION SYSTEMS FOR INDUSTRIAL EQUIPMENT IN THE REGION: THE ROLE OF COMPUTER VISION IN THE INDUSTRIAL DEVELOPMENT OF KHERSON OBLAST

Gurova M. A.

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kherson Technical
University", Henichesk, Russia
E-mail: gurova310819@yandex.ru*

Kherson Oblast, as a constituent entity of the Russian Federation, possesses significant industrial potential, the core of which comprises enterprises in the food and construction industries. The restoration and modernization of the region's production capacities are priority objectives. However, one of the key challenges for the resurgent industry is the implementation of modern quality control systems that ensure product competitiveness. Traditional methods of visual inspection performed by defectoscopist operators are becoming a bottleneck, failing to provide the required productivity and objectivity, especially under high-speed production line conditions.

In this context, intelligent computer vision systems (CVS) capable of automating defect detection and marking recognition processes are of particular relevance. As global experience demonstrates, the transition from closed to open defect detection systems enables a substantial increase in inspection adaptability and reduces the requirements for the volume of annotated data [1]. The development and implementation of such systems at enterprises of Kherson Oblast aligns with the import substitution and technological sovereignty strategy, allowing not only an improvement in product quality but also a reduction in inspection costs [2].

The objective of this study is to develop methods and algorithms for an intelligent computer vision system adapted to industrial production conditions, with a view to implementation at enterprises of Kherson Oblast.

To substantiate the relevance of this work, an analysis of the current state of the region's industry was conducted. According to regional government data, the industrial sector of Kherson Oblast demonstrates sustained positive dynamics. As of the end of 2025, industrial tax revenues increased by 30% compared to the previous year – from 116 million RUB to 151 million RUB. The number of

operating industrial enterprises has increased from 28 to 60 since 2023, i.e., more than twofold. The left-bank territory hosts 138 large industrial complexes, predominantly in the food and processing sector. In January 2026, the Governor of Kherson Oblast announced plans to launch seven new production projects in 2026, including the already operational pasta production plant and the Beryslav bakery, as well as the Henichesk salt plant scheduled for commissioning in the first half of the year.

The socio-economic development program of Kherson Oblast has received substantial federal funding. According to the Governor's report to the President, 346 measures were implemented under the program in 2023–2024, with 133 billion RUB allocated. An additional 82 billion RUB was allocated in 2025. In the investment attraction domain, 60 investment sites have been established in the region, and 45 agreements with investors have been concluded for a total amount exceeding 10 billion RUB. Approximately 13,000 enterprises are registered in the region, with own-source revenues exceeding 7 billion RUB.

The Industrial Development Fund (IDF) plays a key role in supporting enterprises. In 2023–2025, the Fund financed 13 projects for a total amount exceeding 500 million RUB. Since 2023, the Free Economic Zone has registered 17 industrial enterprises and concluded 46 investment agreements.

The industrial structure of Kherson Oblast is characterized by the dominance of food processing, construction materials production, and mechanical engineering. According to federal government information, the region hosts 116 enterprises, with key sectors including mechanical engineering, chemical and light industry, production of construction metal and non-metal materials, and paper and paper products. It is important to note that the region's mineral resource base is relatively limited – comprising 38 deposits, represented predominantly by clays and loams, sands for concrete and silicate products, construction sands, construction stone, and limestone. This resource specialization determines the priority directions of industrial development and imposes specific requirements on quality control technologies.

Keywords: computer vision, defectoscopy, rolled metal, regional development, Kherson region.

References

1. Cheng Y., Cao Y., Yao H. et al. A comprehensive survey for real-world industrial surface defect detection: Challenges, approaches, and prospects. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **145**, 110021 (2025).
2. Object detection survey for industrial applications with focus on quality control. *Production Engineering*, **19**, 1271 (2025).
3. Mortin K. V., Proskuryakov A. Y. Development of Hardware-Software Complex of Vision System for Detection of Sheet Metal Rolling Defects, *Proceedings of ICCT*, 1 (2023).