



**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕРЕВЯННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ШПАТЕЛЕЙ И ПАЛОЧЕК ДЛЯ МОРОЖЕНОГО: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КЛАССИЧЕСКОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА**

**М. Н. Попов, В. Л. Оленев**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*В данной статье исследуется интеграция компьютерного зрения в процесс производства деревянных медицинских шпателей и палочек для мороженого с акцентом на автоматизированный контроль качества. Посредством сравнительного анализа методов классического компьютерного зрения и искусственного интеллекта (ИИ) в исследовании подчеркивается первоначальное предпочтение классического компьютерного зрения из-за ограниченности данных на ранних стадиях. Анализ проливает свет на проблемы и преимущества каждого подхода, направленного на оптимизацию эффективности контроля продукции, точности и своевременного отбраковывания некачественных товаров.*

*Ключевые слова: компьютерное зрение, автоматизированный контроль качества, искусственный интеллект, производство.*

**Для цитирования:**

*Попов, М. Н. Совершенствование автоматизированного контроля качества при производстве деревянных медицинских шпателей и палочек для мороженого: сравнительный анализ применения классического компьютерного зрения и искусственного интеллекта для автоматизированного контроля качества производства / М. Н. Попов, В. Л. Оленев // Системный анализ и логистика. – 2023. – № 3(37). – с. 97 – 103. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-3-97-103.*

**ENHANCING AUTOMATED QUALITY CONTROL IN THE PRODUCTION OF WOODEN MEDICAL SPATULAS AND ICE CREAM STICKS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE USE OF CLASSICAL COMPUTER VISION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR AUTOMATED QUALITY CONTROL OF PRODUCTION**

**M. N. Popov, V. L. Olenov**

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*This paper explores the integration of computer vision in the manufacturing process of wooden medical spatulas and ice cream sticks, focusing on automated quality control. Through a comparative analysis of classical computer vision and artificial intelligence (AI) methods, the study highlights the initial preference for classical computer vision due to data limitations in the early stages. The analysis sheds light on the challenges and advantages of each approach, aiming to optimize product inspection efficiency, accuracy, and timely rejection of substandard items.*

*Keywords: computer vision, automated quality control, artificial intelligence, manufacturing.*

**For citation:**

*Popov, M. N. Enhancing automated quality control in the production of wooden medical spatulas and ice cream sticks: a comparative analysis of the use of classical computer vision and artificial intelligence for automated quality control of production / M. N. Popov, V. L. Olenov // System analysis and logistics. – 2023. – № 3(37). – p. 97 – 103. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-3-97-103.*

**Введение**

Компьютерное зрение находит всё большую популярность при развитии индустрии 4.0. Поэтому данное исследование рассматривает внедрение компьютерного зрения в производство деревянных медицинских шпателей и палочек для мороженого. В данной сфере требуется высокая точность и скорость проверки изделий, а также механизм своевременной отбраковки. Использование человеческой рабочей силы не гарантирует высокой скорости обработки продукции и высокой точности оценки качества, поскольку на реальном производстве просматривается и отбраковывается всё на достаточно большой скорости.



Поэтому нужно разработать систему, которая будет позволять эффективно производить большое количество продукта с надлежащей точностью. В основе данной системы должны будут находиться передовые, подходящие для данной задачи технологии и инструменты компьютерного зрения, при этом должна обеспечиваться надлежащая скорость, не уступающая проверке вручную.

## **1. Обзор существующих решений**

Современные решения проблемы определения дефектов можно разделить на несколько ответвлений: использование классического компьютерного зрения, использование методов искусственного интеллекта, гибридное совмещение двух ранее описанных подходов. Поэтому рассмотрим каждый из данных подходов по отдельности.

### **1.1. Классическое компьютерное зрение**

Данный подход относится к основополагающим и традиционным методам, техникам и алгоритмам, используемым для обработки и анализа визуальных данных (изображений или видео) с целью извлечения значимой информации и обладает рядом полезных качеств. Классическое компьютерное зрение в значительной степени опирается на определение характеристик изображения, используя предопределенные алгоритмы. Такими характеристиками могут быть края, углы, текстура, гистограммы и многое другое. Часто используют традиционные алгоритмы машинного обучения, такие как машины опорных векторов, деревья решений, k-ближайших соседей и т.д., для классификации или распознавания шаблонов на основе созданных вручную признаков [1]. Одним из главных преимуществ классического подхода является его скорость.

Алгоритмы компьютерного зрения, как правило, менее сложны по сравнению с моделями глубокого обучения. Они часто разрабатываются с определенной целью и более поддаются интерпретации. Разработчики в контексте данного подхода обычно определяют способы получения характеристик изображения вручную, основываясь на своем понимании проблемы и предметной области. Это требует знания предметной области и тщательного отбора признаков.

Еще можно назвать немаловажным достоинством небольшую потребность в данных. Классические модели компьютерного зрения, как правило, требуют меньше обучающих данных по сравнению с моделями глубокого обучения, что делает их полезными в сценариях, где сбор данных является сложной задачей [2].

Классическое компьютерное зрение включает в себя хорошо зарекомендовавшие себя алгоритмы, такие как Canny edge detection, преобразование Хафа, SIFT (масштабно-инвариантное преобразование объектов) и другие [3]. Хотелось также отметить надежность и эффективность данного подхода. Методы в контексте данного подхода часто разрабатываются таким образом, чтобы быть эффективными в вычислительном отношении и устойчивыми к шуму и другим проблемам на изображениях.

### **1.2. Искусственный интеллект**

Данный подход произвел революцию в обработке изображений, расширив его возможности и изменив способ нашего взаимодействия с визуальными данными. В частности, глубокое обучение, подмножество искусственного интеллекта, стало мощным инструментом, автоматизирующим извлечение значимых признаков из изображений и обеспечивающим точный анализ и интерпретацию.

Одним из основных преимуществ использования искусственного интеллекта при обработке изображений является автоматическое изучение признаков [4].



Традиционно извлечение релевантных объектов из изображений было ручной и трудоемкой задачей. Однако при глубоком обучении нейронные сети автономно извлекают сложные функции из данных, устраняя необходимость в функциях, определяемых человеком. Это не только экономит время, но и приводит к более эффективному и точному представлению изображений.

Кроме того, искусственный интеллект, особенно сверточные нейронные сети (CNN), продемонстрировал исключительную точность в широком спектре задач обработки изображений. Начиная с классификации и сегментации изображений и заканчивая обнаружением объектов и за их пределами, эти модели неизменно обеспечивают самые современные характеристики. Универсальность методов искусственного интеллекта позволяет точно настроить одну модель для решения множества задач, демонстрируя ее адаптивность и эффективность.

Существует еще трансферное обучение, метод, при котором модели, предварительно обученные на обширных наборах данных, перепрофилируются для решения конкретных задач. Это решает проблему нехватки данных, позволяя моделям использовать знания, полученные в ходе выполнения одной задачи, и применять их к другой. Это значительно повышает скорость конвергенции и производительность, особенно при ограниченном количестве помеченных данных.

Однако обработка изображений на основе искусственного интеллекта не лишена своих проблем. Зависимость от данных является критической проблемой, требующей огромных объемов помеченных данных для обучения [5]. Такая потребность в данных в сочетании с вычислительными ресурсами, необходимыми для обучения, делает подходы к ИИ вычислительно интенсивными и ресурсозатратными. Переоснащение и интерпретируемость моделей также вызывают серьезные опасения. Модели глубокого обучения, будучи сложными и богатыми параметрами, могут легко перестраиваться под данные обучения, и понимание их внутренней работы часто является сложной задачей, потенциально препятствующей доверию и внедрению.

### **1.3. Гибридный подход**

Данный подход использует лучшее из классического компьютерного зрения и современного искусственного интеллекта, предлагая мощный инструментарий для решения сложных задач обработки изображений с повышенной точностью, эффективностью и интерпретируемостью.

## **2. Анализ текущих решений**

Наиболее уместным подходом для первичного внедрения автоматизированной отбраковки изделий производства палочек является классическое компьютерное зрение. Потому что вопреки бесспорным успехам методов искусственного интеллекта на начальных этапах нет нужных массивов данных, на которых можно было бы обучать существующие архитектуры нейронных сетей. Не стоит забывать и про то, что классифицирующие сети не обладают достаточно интуитивными параметрами для различных палочек, таких как, например, загрязненность, несоответствие форме и т.д.

Существующие решения либо основываются на использовании пакетов машинного зрения, таких как Visionmaster, либо создаются «с нуля» на производствах. Пакеты предлагают достаточно большой инструментарий, но при этом данный инструментарий остается весьма ограниченным из-за того, что всё строится на предзаготовленных методах для общих случаев. Поэтому программирование системы компьютерного зрения вручную позволяет более четко описать проблему и реализовать решения, максимально подходящие для задачи.

Хочется также обратить внимание на цену различных решений, пакеты иногда идут вместе со своим контроллером и камерой, как, например, Panasonic machine vision systems, что,



как правило, оценивается гораздо дороже, чем просто программные пакеты компьютерного зрения. Самым недорогим способом внедрения автоматизированного контроля качества является покупка уже готовых механизированных систем, оборудованных компьютерным зрением, но цена очень зависит от страны-производителя. Лидером по цене на данном рынке остаются устройства, произведенные в Китае, но по сравнению с готовыми системами из Европы являются весьма трудно поддерживаемыми. Такая ситуация складывается главным образом из-за языкового барьера и низкой цены, потому что если что-либо сломается, то нужно обращаться в службу поддержки на китайском языке и только онлайн.

Такие системы также чаще всего оснащены программным обеспечением, написанным вручную и с пользовательским интерфейсом на китайском языке. Данное программное обеспечение иногда пишется аутсорс-компанией, которая мало связана с поставщиком механизированной системы, поэтому не стоит ожидать каких-либо обновлений программного обеспечения. А самой главной проблемой является великое множество параметров, которые часто неизвестно за что отвечают, и это очень сильно затрудняет внедрение такой системы.

### **3. Предлагаемые улучшения**

Таким образом, хочется подчеркнуть множество готовых универсальных и специализированных решений для внедрения автоматизированного контроля качества. Но стоит заметить, что каждое решение обладает весьма ощутимыми изъянами, так покупка готовой системы очень сильно зависит от цены, реализация вручную зависит от выбранного подхода. Хотя реализация вручную представляет собой наиболее выгодный вариант, но так как обычно на начальных этапах не присутствует готовых маркированных массивов данных, то стоит начинать с классического компьютерного зрения, обладающего высокой скоростью, качеством и интерпретируемостью результатов.

Поэтому конечная система будет основываться на методах компьютерного зрения, решения будут приниматься на стационарном компьютере и отправляться на клапаны со сжатым воздухом, которые будут выдувать бракованные изделия в нужном месте конвейерного барабана. Очень важно обеспечить удобное окружение для оператора системы, чтобы можно было эффективно и интуитивно подбирать параметры для различных ситуаций и изделий, это будет реализовываться при помощи веб-интерфейса, потому что это наиболее развитая платформа для UX/UI дизайна.

Пример установки находится на рисунке 1. Здесь изображен барабан с захватами, где в промежутках между захватами находятся палочки, данный барабан прокручивается и от энкодера состояния барабана идет сигнал на камеру, чтобы та могла в нужный момент сфотографировать палочку. Данная камера подключена к компьютеру и к клапану, на компьютере будет происходить анализ полученного изображения. Компьютер также должен выбрать момент для активации клапана, чтобы тот отбраковывал изделие несоответствующее качеству.

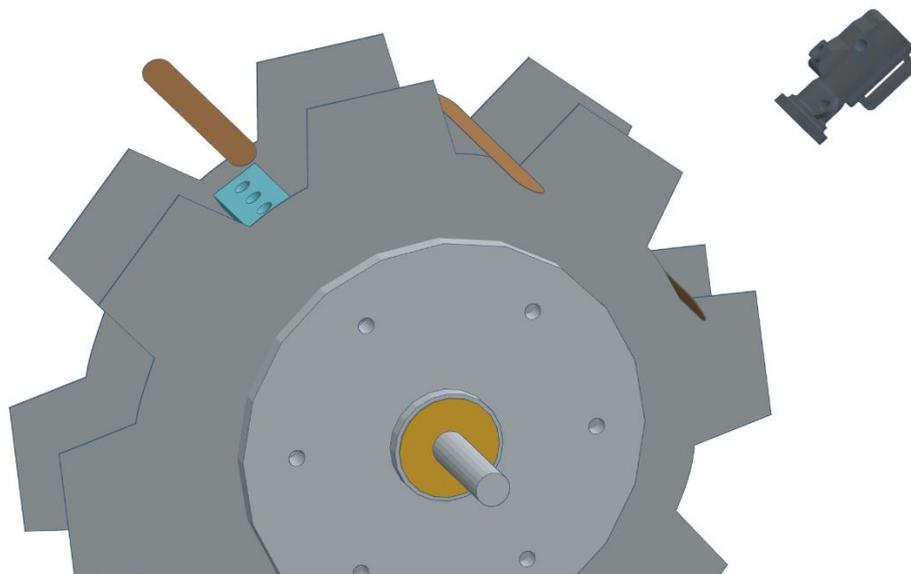


Рис. 1. Пример установки

Следующий алгоритм моделирует непрерывный цикл, в котором программа ожидает сигнала энкодера. Когда сигнал получен, программа получает изображение с камеры, обрабатывает его и добавляет результат в конец массива, который изначально заполнен нулями. Далее сохраняется в переменную содержимое первого элемента, и он удаляется из массива результатов, после этого данное значение отправляется на логический выход камеры для активации клапана. Причем логическая единица значит, что клапан активирован, а логический ноль значит, что клапан закрыт. Значение `activationGap` является количеством сигналов энкодера между областью съемки и областью выдува.

Входные данные: `activationGap`.

---

**Алгоритм 1: Поток обработки изображений**

---

```
0: resultArray ← [ ]
1: for (i ← 0; i < activationGap; i ++ )
2:   resultArray.append(0)
3: endfor
4: while True
5:   encoderSignal ← checkEncoderSignal( )
6:   if encoderSignal = 1
7:     image ← acquireImage( )
8:     verdict ← processImage( image )
9:     resultArray.append( verdict )
10:    verdictToSend ← resultArray.removeAt( 0 )
11:    sendToLogicGate( verdictToSend )
12:   endif
13: endwhile
```

---

Рис. 2. Алгоритм 1: Поток обработки изображений



В дальнейшем, получив достаточное количество изображений и соответствующих решений, можно начать обучать систему искусственного интеллекта, которая сможет работать комбинированно с системой компьютерного зрения для получения самого лучшего результата отбраковки, который может предложить гибридный подход к разработке таких систем.

### **Заключение**

В этом исследовании был проведен анализ методов интеграции компьютерного зрения для улучшения автоматизированного контроля качества при производстве деревянных медицинских шпателей и палочек для мороженого. Цель состояла в том, чтобы определить направление разработки системы, способной эффективно обрабатывать большой объем продукции с высокой точностью и скоростью, обеспечивая при этом своевременную отбраковку дефектных изделий.

Были изучены три основных подхода: классическое компьютерное зрение, искусственный интеллект (ИИ) и гибридное сочетание обоих. Классическое компьютерное зрение опирается на predetermined алгоритмы и функции, созданные вручную, обеспечивая скорость и надежность при меньшей зависимости от данных. Искусственный интеллект, особенно с помощью глубокого обучения, обеспечивает автоматическое извлечение признаков, обеспечивая точный анализ, но требуя значительных объемов помеченных данных и вычислительных ресурсов. Гибридный подход объединяет сильные стороны обеих парадигм, обещая повышенную точность, эффективность и интерпретируемость.

Анализ показал, что, учитывая начальные этапы внедрения и отсутствие маркированных данных, классическое компьютерное зрение стало прагматичным выбором для автоматизированного отбраковывания некачественных продуктов. Отсутствие достаточного количества помеченных данных с самого начала ограничивало применимость решений на основе искусственного интеллекта. Примечательно, что в существующих решениях наблюдались такие проблемы, как языковые барьеры с поставщиками, сложности обслуживания и множество параметров, влияющих на выбор целесообразного подхода.

Предлагаемые усовершенствования включают разработку окончательной системы, основанной на методах компьютерного зрения, в которой решения передаются на клапаны сжатого воздуха для точного удаления дефектных изделий. Был предложен интуитивно понятный веб-интерфейс, облегчающий эффективный выбор параметров для различных ситуаций и продуктов. Кроме того, перспективный подход предполагает обучение системы искусственного интеллекта, интеграцию ее с системой компьютерного зрения для достижения оптимальных результатов отбраковки.

В заключение, данное исследование подчеркивает важность интеграции компьютерного зрения в производственную отрасль, предлагая понимание выбора уместных подходов, основанных на доступности данных и производственных требованиях. Поскольку технологии продолжают развиваться, сочетание преимуществ классического компьютерного зрения и искусственного интеллекта открывает огромные перспективы для революционного автоматизированного контроля качества в производстве изделий, прокладывая путь к повышению качества продукции и эффективности производства.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Russel S. Artificial Intelligence: A Modern Approach 3rd Edition / S. Russel, P. Norvig – London: Pearson, 2009. – 1152 p.
2. Géron A. Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems 2nd Edition / A. Géron – Sebastopol: O'Reilly Media, 2019. – 856 p.
3. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications (Texts in Computer Science) 2nd ed. 2022 Edition / R. Szeliski – Washington: Springer. 2022. – 947 p.



4. Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов. Пер.с англ. / Д. Марр – М.: Радио и связь, 1987. – 400 стр.
5. Ту Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес под ред. Ю. И. Журавлевича. – М.: Мир, 1978. – 413 с.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Попов Максим Николаевич –**

студент кафедры аэрокосмических компьютерных программных систем  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: makspopov11@mail.ru

**Оленев Валентин Леонидович –**

Кандидат технических наук, доцент  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А  
E-mail: valentin.olenev@guap.ru

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Popov Maxim Nikolaevich –**

student of the Departments of Aerospace Computer Software Systems  
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: makspopov11@mail.ru

**Olenev Valentin Leonidovich –**

PhD. tech. Sciences, associate Professor  
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: valentin.olenev@guap.ru