

УДК 004.89:004.932:658.512

Островский Д.И.

Студент

Белгородский Государственный Национальный

Исследовательский Университет

Россия, Белгород.

Научный руководитель: Путивцева Н. П., д. к. н. м. и и.

Белгородский Государственный Национальный

Исследовательский Университет

Ostrovskiy D.I.

Student

Belgorod State National Research University

Russia, Belgorod.

Scientific Supervisor: Putivtseva N.P., Doctor of Physical and

Mathematical Sciences

Belgorod State National Research University

**ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССА КРОМЛЕНИЯ И ПОСТАНОВКА
ЗАДАЧИ НА РАЗРАБОТКУ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО
ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ**

**DIAGNOSTICS OF THE EDGEBANDING PROCESS AND
FORMULATION OF THE PROBLEM STATEMENT FOR THE
DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC VISUAL CONTROL SYSTEM**

Аннотация: в данной статье представлено результаты работы, направленное на повышение эффективности контроля качества на мебельном производстве. На примере действующего участка кромления предприятия ООО «Дом мебели» проведен детальный анализ существующего ручного процесса контроля, выявлены его ключевые недостатки, ведущие к материальным потерям и риску партийного

брака. Основным решением предложено внедрение системы автоматического визуального контроля (ABK), разработанной и адаптированной под конкретные технологические условия. В работе обоснованы требования к такой системе, спроектирована концепция ее интеграции в производственную линию, проведен сравнительный анализ подходов к реализации. Сделан вывод о целесообразности собственной разработки программно-аппаратного комплекса ABK, позволяющего перейти от выборочного констатирующего контроля к оперативному предотвращению брака в реальном времени.

Ключевые слова: автоматический визуальный контроль, ABK, мебельное производство, кормление, контроль качества, машинное зрение, технологический процесс, проектирование системы, предотвращение брака, экономическая эффективность.

Abstract: this article presents the results of the work aimed at improving quality control efficiency in furniture manufacturing. Using the example of an existing edging section at the company LLC "Dom Mebeli," a detailed analysis of the current manual control process was conducted, identifying its key shortcomings that lead to material losses and the risk of batch defects. The main solution proposed is the implementation of an automatic visual control (AVC) system, developed and adapted to specific technological conditions. The work justifies the requirements for such a system, designs the concept of its integration into the production line, and conducts a comparative analysis of implementation approaches. The conclusion is made about the high economic and technological feasibility of the in-house developed AVC hardware and software complex, allowing a shift from selective confirming control to real-time operational defect prevention.

Keywords: automatic visual inspection, AVI, furniture production, edging, quality control, machine vision, technological process, system design, defect prevention, economic efficiency.

Исследования выполнены на базе действующего мебельного предприятия ООО «Дом мебели». Объектом исследования и внедрения выбран участок кромления, который обеспечивает обработку деталей для основного ассортимента продукции: тумбочек и пеналов. Выбор данного участка обусловлен его критической важностью для формирования конечного качества продукции и наличием системных проблем в области визуального контроля, актуальных для решения средствами автоматизации. Реальная производственная среда обеспечивает достоверность собираемых данных и возможность апробации разработанной методики в условиях, максимально приближенных к промышленным.

Объектом автоматизации является участок кромления, оснащенный автоматическим кромкооблицовочным станком КВТ 665J. Данный станок обеспечивает высокопроизводительную обработку кромок деталей из ламинированного ДСП толщиной 16 мм, используемых в производстве корпусов для мебели ванных комнат. Используются детали с различными декоративными покрытиями (белый глянец, графит, дуб крафт), что создает дополнительные сложности для визуального контроля. В качестве кромочного материала применяется рулонный ПВХ двух типоразмеров: толщиной 0.4 мм и 1.0 мм при ширине 19 мм. Максимальная длина обрабатываемой детали не превышает 1100 мм, что задает ключевое требование к зоне контроля и производительности будущей системы. Данный технологический участок является критически важным, так как качество приклейки и обработки кромки напрямую влияет на товарный вид изделия и его устойчивость к условиям повышенной влажности.



Рисунок 1 – Кромкооблицовочный станок КВТ 665J

Действующий процесс контроля качества является ручным, выборочным и осуществляется оператором станка по завершении обработки партии деталей. Его последовательность включает формирование стопки одинаковых деталей, их последовательную обработку на станке (в этот момент контроль отсутствует), а затем выборочный визуальный осмотр уже обработанной партии, блок схема представлена на рисунки 2. Среднее время на осмотр одной стопки составляет около 10 секунд, основное внимание уделяется очевидным дефектам: отслоению, сколам и значительным загрязнениям.

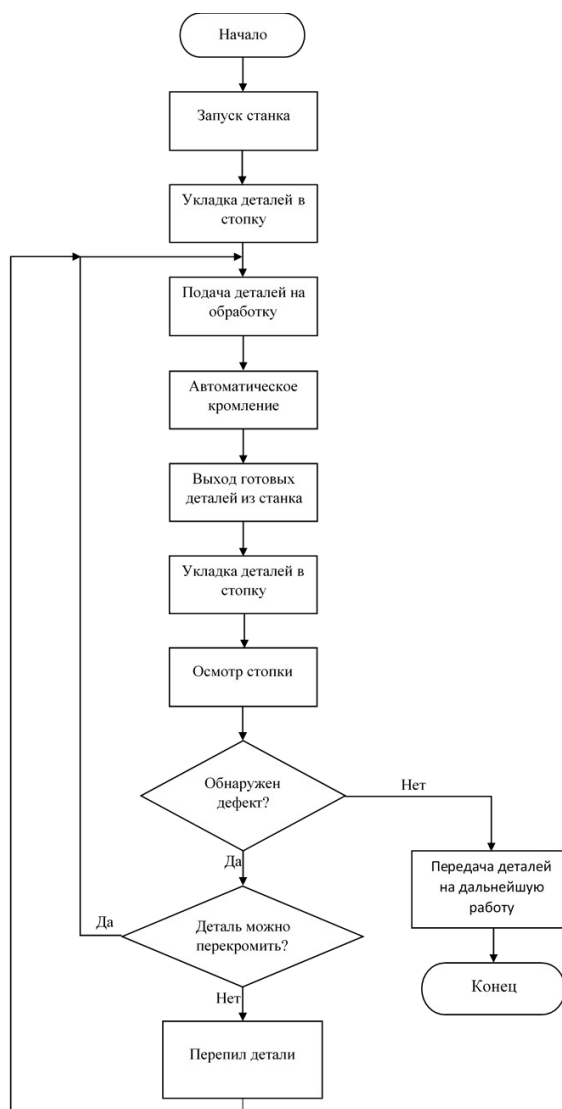


Рисунок 2 – блок-схема существующего процесса контроля качества кромления

В процессе анализа были выявлены проблемы существующего подхода:

- запаздывающая обратная связь. Дефект обнаруживается после того, как вся партия уже обработана. При возникновении систематического сбоя в начале цикла бракуется вся последующая партия;
- отсутствие 100% контроля. Оператор физически не может детально проверить каждую кромку на каждой детали из-за высокой нагрузки и необходимости обслуживать станок;

- субъективность оценки. Качество контроля напрямую зависит от опыта, утомляемости и внимательности конкретного сотрудника;
- отсутствие объективной статистики. Нет накопления данных по типам и частоте дефектов, что лишает технологов информации для анализа первопричин и превентивного обслуживания оборудования;
- запоздалый контроль ОТК. Проверка службой качества осуществляется на этапе готовых изделий, что многократно увеличивает стоимость переделки.

Таким образом, существующий процесс не предотвращает, а лишь констатирует брак, приводя к прямым потерям.

Для обоснования инвестиций в автоматизацию была проведена количественная оценка потерь. Анализ показал, что, хотя процент пропущенного в сборку брака невелик (0.05–0.2%), основные затраты связаны с браком, который уже выявлен.

Таблица 1 – структура и оценка потерь от дефектов кромления

Показатель	Значение	Последствия
Среднее кол-во дефектных деталей на 200 шт.	5%	Выявленный оператором брак
Доля исправимого брака	90%	Время доработки ~5 мин/деталь
Доля неисправимого брака	10%	Полная потеря материала и времени обработки
Потери времени оператора на контроль и доработку	~10% рабочего времени	Снижение производительности участка

На основе диагностики ключевой проблемой был признан не общий процент брака, а запаздывающая реакция на возникновение систематического сбоя в работе станка, приводящая к браковке целых партий. Главная цель внедрения системы АВК была сформулирована как обеспечение оперативного автоматического обнаружения дефекта

кромления непосредственно в процессе обработки с немедленной сигнализацией оператору для остановки подачи последующих деталей. Это позволит ликвидировать партийный брак, сократить время реакции на неисправность с минут до секунд, минимизировать потери материалов и трудозатраты, а также сделать контроль объективным и непрерывным.

Система должна детектировать дефекты, являющиеся прямыми индикаторами нарушения технологического процесса: отслоение или непрочей кромки (проблемы с клеем или валами), обрыв или отсутствие кромки (сбой подачи), глубокие вмятины или царапины (загрязнение валов). Фиксация любого из этих дефектов должна приводить к немедленной подаче сигнала «СТОП».

На основе анализа были сформулированы ключевые требования к системе, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – спецификация требований к системе АВК

Категория требований	Требование	Количественный / качественный показатель
Функциональные	Предотвращение партийного брака	Остановка цикла при обнаружении дефекта
	Контролируемые дефекты	Отслоение, непрочей, обрыв кромки, царапины/вмятины
	Реакция системы	Немедленный сигнал «СТОП» оператору (свет/звук)
Эксплуатационные и технические	Производительность (скорость анализа)	Не более 2.75 сек на деталь длиной 1100 мм

Продолжение таблицы 2

	Точность детекции	Ложные срабатывания < 0.5%, пропуск дефекта < 0.5%
Эксплуатационные и технические	Надежность в цеховых условиях	Устойчивость к вибрации, запыленности, перепадам освещения
	Степень защиты компонентов	Не ниже IP54
Интеграционные	Взаимодействие с процессом	Не инвазивное
	Место установки	Зона после прокаточных валов
	Интерфейс оператора	Простой визуальный или звуковой сигнал

На основе анализа технологического процесса и требований к оперативности была разработана концепция размещения системы АВК. Ключевой принцип: контроль должен осуществляться в точке максимально раннего обнаружения системного сбоя, то есть непосредственно после прокаточных валов станка, до момента укладки детали в стопку. Концептуальная схема предполагает монтаж камеры и осветителя на жестком кронштейне над или сбоку от выходного транспортера станка, на расстоянии 300-500 мм от зоны обработки. Это позволяет захватывать изображение кромки в первые секунды после ее выхода из валов. На первом этапе предлагается контроль одной верхней кромки детали, что достаточно для детектирования всех целевых дефектов при минимальной сложности системы. В перспективе конфигурация может быть масштабирована.

Для компенсации сложных производственных условий предусмотрены специальные меры: установка независимого

стабилизированного источника света для создания постоянного контраста; выбор компонентов со степенью защиты не ниже IP54 и установка регламента их периодического обслуживания; применение жесткого крепления и оборудования, рассчитанного на работу в условиях вибрации.

Предварительный состав системы включает промышленную камеру с разрешением, достаточным для выявления дефектов от 0.3 мм; контроллер для обработки изображений; специализированное программное обеспечение для машинного зрения; осветительное оборудование; систему сигнализации.

На основе сформулированных требований был проведен сравнительный анализ подходов к построению системы: использование готового коммерческого комплекса от вендоров и собственная разработка.

Таблица 3 – сравнительный анализ подходов к реализации системы АВК

Критерий сравнения	Готовое коммерческое решение	Собственная разработка
Стоимость внедрения	Высокая	Низкая
Адаптивность к задаче	Ограничена функционалом коробочного ПО	Полное соответствие специфике процесса
Гибкость при изменении технологии	Зависимость от вендора, платные доработки	Быстрая модификация алгоритмов своими силами
Скорость запуска	Высокая	Требуется время на разработку и отладку
Зависимость от поставщика	Критическая	Отсутствует
Риски	Низкие технические	Риск ошибок

	риски	разработки
--	-------	------------

Анализ показал, что готовые решения, несмотря на минимальные риски и быстрый старт, обладают существенными недостатками для конкретных условий проекта: высокая стоимость, закрытость и ограниченная адаптивность программного обеспечения, зависимость от вендора в поддержке. Собственная разработка, напротив, обеспечивает полное соответствие задаче, максимальную адаптивность к изменениям в процессе, полный контроль над системой и отсутствие лицензионных отчислений. Основным ее минусом является необходимость наличия компетенций разработчика и времени на создание.

Для предприятия с четко очерченной задачей (контроль трех типов дефектов на одном типе станка) и наличием специалиста собственная разработка системы АВК признана наиболее экономически эффективным и технологически целесообразным путем. Данный подход позволяет создать не просто систему контроля, а адаптируемый инструмент, являющийся интеллектуальной собственностью предприятия.

В рамках проекта принято решение о самостоятельной разработке программного ядра с использованием ресурсов предприятия и закупке только необходимых комплектующих. Техническая спецификация аппаратной части включает: промышленную камеру с глобальным затвором, разрешением 2-5 Мп и интерфейсом GigE Vision; модернизацию существующего осветителя; использование имеющегося промышленного ПК; световую панель и кнопку аварийного останова. Программная часть будет разработана на языке Python с использованием библиотек OpenCV и PyQt, алгоритмы будут основаны на анализе контуров, морфологических операциях и работе в цветовом пространстве HSV для учета разных цветов ЛДСП.

Проведенный анализ технологического процесса кромления на мебельном предприятии выявил системные недостатки ручного контроля,

главным из которых является риск возникновения массового партийного брака из-за запаздывающей обратной связи. Для решения этой проблемы была обоснована необходимость разработки и внедрения системы автоматического визуального контроля, функционирующей в реальном времени. Сформулированные требования к системе носят прикладной характер и направлены на оперативное обнаружение конкретных дефектов, сигнализирующих о сбое в работе оборудования.

Анализ рынка ПО показало, что наиболее целесообразным решением является собственная разработка программно-аппаратного комплекса. Разработанная концепция интеграции системы непосредственно в зону выхода детали из станка обеспечивает контроль в момент возникновения дефекта. Сравнительный анализ подтвердил, что собственная разработка не только полностью соответствует специфическим требованиям производства, но и является экономически выгодной, окупаясь за счет предотвращения даже единичных случаев партийного брака.

Таким образом, внедрение спроектированной системы АВК позволит перевести контроль качества кропления из разряда пассивной констатации брака в активный инструмент управления процессом, обеспечивающий значительное снижение производственных потерь и повышение общей эффективности участка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1) Добрынин, А. С. Машинное зрение в промышленности: учебное пособие / А. С. Добрынин, В. Л. Яшин. – СПб. : Лань, 2019. – 256 с.
- 2) Форсайт, Д. А. Компьютерное зрение. Современный подход / Д. А. Форсайт, Ж. Понс. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2021. – 928 с.
- 3) Волков, Н. П. Методы и алгоритмы обработки изображений для контроля геометрических параметров деталей в условиях промышленных помех: автореф. диссертация канд. техн. наук: 05.13.01 / Волков Николай Петрович. – Томск, 2021. – 24 с.

4) Киселев, М. И. Проектирование автоматизированных систем контроля в машиностроении / М. И. Киселев. – СПб.: Политехника, 2017. – 275 с.