

Зайцева Надежда Валерьевна,
студентка гр. АТП-23-1. ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: nadezdazajceva29262@gmail.com

Блащинская Оксана Николаевна,
старший преподаватель, кафедра «Автоматизации технологических процессов»
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: lin_oks@mail.ru

Деревягина Светлана Сергеевна,
доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов»
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: dss-kit@yandex.ru

ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДАТЧИКА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

Zaitseva N.V., Blaschinskaja O.N., Derevyagina S.S.
ASSESSMENT OF THE CAPACITY OF THE OBJECT RECOGNITION SENSOR

Аннотация. В статье рассматриваются методы оценки пропускной способности датчиков распознавания объектов, применяемых в автоматизированных производственных системах. Особое внимание уделяется анализу факторов, влияющих на скорость обработки данных, а также выводу формулы максимальной скорости конвейера. Приводится пример расчёта и демонстрируется таблица зависимости пропускной способности от ключевых параметров системы. В отличие от известных работ, в статье предложен учёт вариативности времени обработки через коэффициент запаса. Результаты могут быть использованы при проектировании систем машинного зрения и оптимизации производственных линий.

Ключевые слова: датчик распознавания, пропускная способность, машинное зрение, конвейер, автоматизация, скорость обработки.

Abstract The article discusses methods for evaluating the throughput of object recognition sensors used in automated production systems. Special attention is paid to analyzing the factors that affect the speed of data processing, as well as deriving a formula for the maximum conveyor speed. An example of calculation is provided, and a table is demonstrated that shows the dependence of throughput on key system parameters. Unlike previous work, the article proposes a method for accounting for the variability of processing time using a safety factor. The results can be used in the design of machine vision systems and the optimization of production lines.

Keywords: recognition sensor, throughput, machine vision, conveyor, automation, processing speed.

Современные производственные линии активно используют системы машинного зрения для автоматического распознавания объектов, что позволяет существенно повысить уровень автоматизации и снизить влияние человеческого фактора. Такие системы включают датчики, камеры и вычислительные модули, способные анализировать изображения в реальном времени. Промышленные роботизированные комплексы, оснащённые системами компьютерного зрения, уже демонстрируют эффективность при сортировке объектов на движущемся конвейере: например, скорость целевой выборки может достигать 1200-1300 предметов в час [1]. Одним из ключевых параметров эффективности подобных решений является пропускная способность, то есть количество объектов, которое система способна корректно обработать за единицу време-

ни. При увеличении скорости движения конвейерной линии требования к быстродействию датчиков возрастают, и возникает необходимость точной оценки их возможностей. Недостаточная производительность системы может привести к пропуску объектов или ошибкам классификации, что в конечном итоге снижает качество продукции и увеличивает издержки производства [1].

Пропускная способность датчика определяется совокупностью временных затрат на выполнение различных этапов обработки информации. К ним относятся время захвата изображения, время обработки данных и время передачи информации между компонентами системы. Современные промышленные решения, такие как роботизированные сортировочные системы, демонстрируют, что основным ограничивающим фактором является скорость обработки кадра системой компьютерного зрения [1]. Общее время обработки одного объекта ($T_{общ}$) можно выразить следующей формулой:

$$T_{общ} = T_{захв} + T_{обrab} + T_{перед}, \quad (1)$$

где $T_{захв}$ – время получения изображения с камеры; $T_{обrab}$ – время выполнения алгоритмов распознавания; $T_{перед}$ – время передачи данных.

Данный показатель является ключевым при расчёте максимально допустимой скорости движения объектов на конвейере. Максимальная скорость конвейера определяется с учётом расстояния между объектами и общего времени их обработки. Однако на практике время обработки может варьироваться из-за различий в сложности объектов, освещённости или зашумлённости кадра. В связи с этим промышленные системы предусматривают адаптацию к скорости движения конвейера в диапазоне от 0,3 до 2 м/с [1]. Поэтому в расчёт вводится коэффициент запаса $k > 1$. Тогда:

$$V_{max} = \frac{L}{K * T_{общ}}, \quad (2)$$

где V_{max} – максимальная скорость движения конвейера; L – минимально допустимое расстояние между соседними объектами; K – коэффициент, учитывающий вариативность времени обработки (рекомендуется $k = 1,2 \div 1,3$).

Эта зависимость демонстрирует, что увеличение времени обработки или его нестабильность приводит к снижению допустимой скорости конвейера. Таким образом, при проектировании системы необходимо стремиться к минимизации временных задержек и их дисперсии.

Согласно исследованиям по методам контроля состояния конвейерных систем с применением сверхточных нейронных сетей, наибольшее влияние на общее время обработки оказывает именно этап анализа изображения, так как он связан с вычислительно сложными алгоритмами [3]. Простые методы обработки, такие как бинаризация или фильтрация, позволяют достичь высокой скорости, но при этом уступают по точности более сложным методам, основанным на использовании нейронных сетей. Последние обеспечивают высокое качество распознавания, однако требуют значительно больших вычислительных ресурсов и времени.

Практическая реализация систем распознавания на конвейерных линиях сталкивается с рядом инженерных проблем. Как показано в работе по разра-

ботке системы технического зрения для подсчёта деталей, точность распознавания напрямую зависит от качества освещения, разрешения камеры и производительности вычислительного модуля [2]. В ходе экспериментальных исследований авторам удалось достичь точности подсчёта деталей на конвейерной ленте на уровне 98% при использовании современных методов машинного обучения [2].

Также существенным фактором является выбор алгоритма трекинга объектов. При тестировании различных трекеров (DeepSORT, BoT-SORT, SORT, ByteTrack) на задаче отслеживания объектов на конвейерной ленте было установлено, что время обработки одного кадра варьируется от 50 до 96 мс в зависимости от выбранной архитектуры [4]. При этом наилучшее соотношение точности и производительности показал трекер DeepSORT, обеспечивающий показатель MOTA = 0,9553 при времени обработки 66 мс на кадр [4].

Рассмотрим пример расчёта пропускной способности системы с учётом предложенного коэффициента запаса. Пусть время захвата изображения составляет 0,01 с, время обработки – 0,04 с, а время передачи данных – 0,01 с. Минимальное расстояние между объектами на конвейере равно 0,1 м. Коэффициент запаса примем $k = 1,2$ (учёт случайных колебаний времени обработки). Тогда общее время обработки без запаса будет иметь вид:

$$T_{\text{общ}} = 0,06 \text{ с} \quad (3)$$

Максимальная скорость без запаса

$$V_{\text{max}} = 0,1/0,06 \approx 1,67 \text{ м/с} \quad (4)$$

Максимальная скорость с запасом

$$V_{\text{max,рез}} = 0,1/(1,2 * 0,06) \approx 1,39 \text{ м/с} \quad (5)$$

Этот пример наглядно демонстрирует, что игнорирование вариативности времени обработки приводит к завышению допустимой скорости на 20%, что в реальных условиях вызовет пропуск объектов.

Таблица 1

Зависимость максимальной скорости конвейера от времени обработки (при $L=0,1 \text{ м}, k=1,2$)

Время обработки $T_{\text{обrab}}, \text{ с}$	Общее время $T_{\text{общ}}, \text{ с}$	Максимальная скорость $V_{\text{max}}, \text{ м/с}$
0,02	0,04	2,08
0,04	0,06	1,39
0,06	0,08	1,04
0,08	0,10	0,83
0,10	0,12	0,69

Примечание: $T_{\text{захв}}=0,01\text{с}$, $T_{\text{перед}}=0,01\text{с}$ фиксированы.

Из приведённых данных видно, что зависимость носит обратный характер. Если представить эту зависимость графически, она будет иметь вид гиперболы, что указывает на высокую чувствительность системы к изменению временных параметров, особенно при малых значениях времени обработки.

Для повышения пропускной способности системы распознавания объектов необходимо применять комплексный подход. В частности, следует оптимизировать алгоритмы обработки изображений, сокращая их вычислительную

сложность без значительной потери точности. Также эффективно использование аппаратного ускорения, например, графических процессоров или одноплатных компьютеров с поддержкой аппаратной акселерации нейронных сетей [1, 4]. Дополнительно рекомендуется уменьшать разрешение изображений в тех случаях, когда это не влияет критически на качество распознавания, а также минимизировать задержки передачи данных за счёт оптимизации сетевой инфраструктуры.

Таким образом, оценка пропускной способности датчиков распознавания объектов играет важную роль при проектировании автоматизированных производственных линий. Использование математических моделей и расчётных формул позволяет определить допустимые режимы работы оборудования и избежать перегрузки системы. Основным фактором, ограничивающим производительность, является время обработки данных, а также его вариативность. Поэтому при расчёте максимальной скорости конвейера рекомендуется вводить коэффициент запаса.

Таким образом, можно сделать следующий вывод, что предложенная уточнённая формула позволяет инженерам более надёжно проектировать конвейерные линии, избегая простоев из-за случайных всплесков времени распознавания. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка адаптивных систем, способных динамически изменять параметры обработки в зависимости от текущей нагрузки, что позволит обеспечить стабильную работу даже при изменяющихся условиях эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Робот-сортировщик L-Labs // Портал «Цифровой РЭО». – Реестр ИТ-решений. – 2026. – Текст: электронный. URL: <https://it.reo.ru/solutions/ekonomika-zamknutogo-tsikla/464/> (дата обращения: 26.04.2026).

2. **Жумашева, Ж.** Разработка системы технического зрения для подсчёта количества деталей / Ж. Жумашева, М. Сулейменов, Ж. Айтуганова, А. Абекова // Вестник КазАТК. – 2024. – №6(135). – С. 132-139. – Текст: непосредственный.

3. **Паластрова, В.Ю.** Особенности модели нейронной сети для детекции объектов на изображении / В.Ю. Паластрова; А.Ю. Беляков . Текст: электронный // Проблемы и перспективы развития АПК региона: материалы Межвузовской студенческой научно-практической конференции (Пермь, 30 ноября 2023 года). – Пермь: ПрокростЪ, 2024. – Ч. 2. – С. 143-148. – URL: <https://cat.gpntb.ru/index.php?id=EC/ShowFull&bid=37304819aa53435c42a3567d4d3f5eb1&irbDb=ESVODT> (дата обращения: 26.04.2026).

4. Хакатон компании Ренью: трекинг объектов на конвейерной ленте // GitHub. – 2024. – Текст: электронный. URL: https://github.com/usaeva-a/renue_hackathon (дата обращения: 26.04.2026).