

## Оригинальная статья / Original article

УДК 681.5.015

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-1-123-135>

## Разработка метода уменьшения эффекта размытия снимков объектов на конвейерных линиях с помощью подвижных камер

Д.А. Бушуев <sup>1</sup>, С.Н. Огурцов <sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> Белгородский государственный технический университет им. В.Г. Шухова  
ул. Костюкова, д. 46, г. Белгород 308012, Российская Федерация

✉ e-mail: [clockyouu@gmail.com](mailto:clockyouu@gmail.com)

### Резюме

**Цель исследования.** В статье исследуется предлагаемый авторами метод уменьшения размытия снимков объектов, движущихся с высокой скоростью на конвейерной ленте, с использованием подвижной камеры, скорость которой синхронизируется с движением конвейерной ленты. Применение этого метода повышает качество получаемых изображений и, как следствие, эффективность автоматизированных систем контроля качества и идентификации объектов на конвейере. Для оценки величины размытости изображений использована метрика на основе анализа частотного спектра получаемого изображения.

**Методы.** Разработан метод для уменьшения эффекта размытия снимков объектов, основанный на использовании автоматической синхронизирующей системы, уравнивающей скорости движения камеры и объекта на конвейере в момент получения снимка. Для обеспечения возвратно-поступательного движения камеры закреплены на ползунах самоуравновешенного двойного кривошипно-ползунного механизма (КПМ). В статье представлена структура автоматической синхронизирующей системы и приведено описание алгоритма ее работы. Получено условие синхронизации движения камеры и конвейера. Для тестирования системы технического зрения с подвижной камерой, установленной на ползуне КПМ, построен тестовый образец механизма, обеспечивающий возвратно-поступательное движение камеры.

**Результаты.** Используя тестовый образец механизма, выполнено сравнение между системой технического зрения со статической камерой и системой с подвижной камерой при различных скоростях конвейерной ленты. Полученные результаты показывают, что подвижная камера обеспечивает существенное снижение эффекта размытия, особенно при высоких скоростях.

**Заключение.** Предложенный метод позволяет значительно уменьшить или полностью устранить эффект размытия, что приводит к существенному улучшению качества получаемых изображений и повышению эффективности работы системы технического зрения в целом. Отмечено, что система требует обеспечения точности синхронизации движения камеры и конвейера, а также ее реализация может быть сопряжена с определенными техническими сложностями. Тем не менее, полученные результаты открывают широкие перспективы для дальнейшего развития и применения метода в различных областях, требующих высокоточной и надёжной визуальной информации о движущихся объектах.

**Ключевые слова:** система технического зрения; конвейерная линия; размытие в движении; подвижная камера; синхронизация; автоматизация; обработка изображений.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках реализации государственного задания FZWN-2025-0002 с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

**Для цитирования:** Бушуев Д.А., Огурцов С.Н. Разработка метода уменьшения эффекта размытия снимков объектов на конвейерных линиях с помощью подвижных камер // Известия Юго-Западного государственного университета. 2025; 29(1): 123-135. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-1-123-135>.

Поступила в редакцию 20.01.2025

Подписана в печать 28.02.2025

Опубликована 14.04.2025

## Development of a method for reducing motion blur in images of objects on conveyor lines using moving cameras

Dmitry A. Bushuev<sup>1</sup>, Sergey N. Ogurtsov<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> Belgorod State Technical University named after V.G. Shukhov  
46, Kostyukova str., Belgorod 308012, Russian Federation

✉ e-mail: a.oleynikova.astu@mail.ru

### Abstract

**Purpose of research.** The article investigates a method proposed by the authors for reducing motion blur in images of objects moving at high speed on a conveyor belt, using a moving camera whose speed is synchronized with the movement of the conveyor belt. Application of this method improves the quality of the obtained images and, consequently, the efficiency of automated quality control and object identification systems on the conveyor. To assess the degree of image blurring, a metric based on the analysis of the frequency spectrum of the obtained image was used.

**Methods.** A method for reducing motion blur in object images has been developed, based on the use of an automatic synchronization system that equalizes the speeds of the camera and the object on the conveyor at the moment the image is captured. To ensure reciprocating motion of the camera, it is mounted on sliders of a self-balancing double crank-slider mechanism (CSM). The article presents the structure of the automatic synchronization system and provides a description of its operating algorithm. A condition for synchronizing the movement of the camera and the conveyor was derived. To test the machine vision system with a moving camera mounted on the CSM slider, a test prototype of the mechanism providing reciprocating motion of the camera was constructed.

**Results.** Using the test prototype of the mechanism, a comparison between a machine vision system with a static camera and one with a moving camera at various conveyor belt speeds was made. The obtained results show that the moving camera significantly reduces the effect of blurring, especially at high speeds.

**Conclusion.** The proposed method allows for a significant reduction or complete elimination of motion blur, leading to a substantial improvement in the quality of the obtained images and enhancing the overall efficiency of the machine vision system. It is noted that the system requires precise synchronization accuracy between the camera and the conveyor, and its implementation may involve certain technical challenges. Nevertheless, the obtained results open up broad prospects for further development and application of the method in various fields requiring high-precision and reliable visual information about moving objects.

**Keywords:** machine vision system, conveyor line, motion blur, moving camera, synchronization, automation, image processing.

**Conflict of interest.** The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**Funding.** This work was realized in the framework of the project FZWN-2025-0002 on the base of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. The work was realized using equipment of High Technology Center at BSTU named after V.G. Shukhov.

**For citation:** Bushuev D. A., Ogurtsov S. N. Development of a method for reducing motion blur in images of objects on conveyor lines using moving cameras // *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2025; 29(1): 123-135 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2025-29-1-123-135>.

Received 20.01.2025

Accepted 28.02.2025

Published 14.04.2025

\*\*\*

## Введение

Современные производственные линии, особенно конвейерные системы, предъявляют всё более высокие требования к скорости, точности и надёжности автоматизированных процессов контроля качества и идентификации объектов [1-3]. Системы технического зрения играют в этих процессах ключевую роль, обеспечивая возможность оперативного анализа и обработки визуальной информации [4-11]. Однако одной из основных проблем, возникающих при работе таких систем на конвейерных линиях, является размытие движущихся объектов на изображении. Традиционный подход с использованием статично установленных камер неизбежно приводит к ухудшению качества изображения при увеличении скорости конвейерной ленты, что существенно затрудняет или делает невозможным выполнение задач идентификации, измерения размеров, обнаружения дефектов и других операций, требующих высокой чёткости изображения.

Существующие методы борьбы с размытием, такие как изменение выдержки камеры и использование мощной подсветки, часто оказываются недостаточно эффективными и могут приводить к другим нежелательным эффектам, например, снижению светочув-

ствительности или перегреву оборудования и наблюдаемых объектов.

Альтернативные подходы, основанные на программной обработке изображений для компенсации размытия, сложны в реализации и не всегда обеспечивают приемлемые результаты в условиях реального времени [12-13]. Например, в патенте [14] описывается способ и электронное устройство для устранения размытости изображения. Это устройство использует итеративный процесс кодирования и декодирования захваченного изображения, применяя операции деконволюции для уменьшения артефактов размытия. Тем не менее, методы устранения размытия изображения непосредственно после его захвата имеют свои ограничения. Необратимая потеря информации в исходном размытом кадре может препятствовать полному восстановлению деталей изображения. Кроме того, вычислительная сложность этих методов может приводить к увеличению времени обработки, что делает их менее подходящими для приложений реального времени, где каждый кадр требует немедленной обработки.

Другой подход к уменьшению размытия движения включает в себя активное управление зеркалом или системой зеркал. В работах [15-20] была пред-

ложена система высокоскоростной видеосъемки без размытия движения, основанная на управлении синхронизацией кадров. Эта система использует стационарную видеокамеру и вращающееся зеркало или полупрозрачный куб, установленное на роторе высокоскоростного электродвигателя. Синхронизируя скорость вращения зеркала с движением объекта на конвейерной ленте, система эффективно компенсирует относительное движение, тем самым сводя к минимуму размытие движения. Сигнал для захвата изображения выдается при достижении синхронизации скоростей. Однако вращательное движение зеркала создает потенциальные искажения изображения. Кроме того, зеркало имеет ограниченный максимальный угол поворота, и требует точного контроля его возврата в исходное положение. Более того, система чувствительна к изменениям расстояния до объекта или его скорости.

Таким образом, существует потребность в разработке нового метода для захвата четких изображений движущихся объектов на конвейерных линиях. Предлагаемое решение должно минимизировать искажения изображения независимо от расстояния, скорости объекта и возможных конфигураций конвейерных линий.

## Материалы и методы

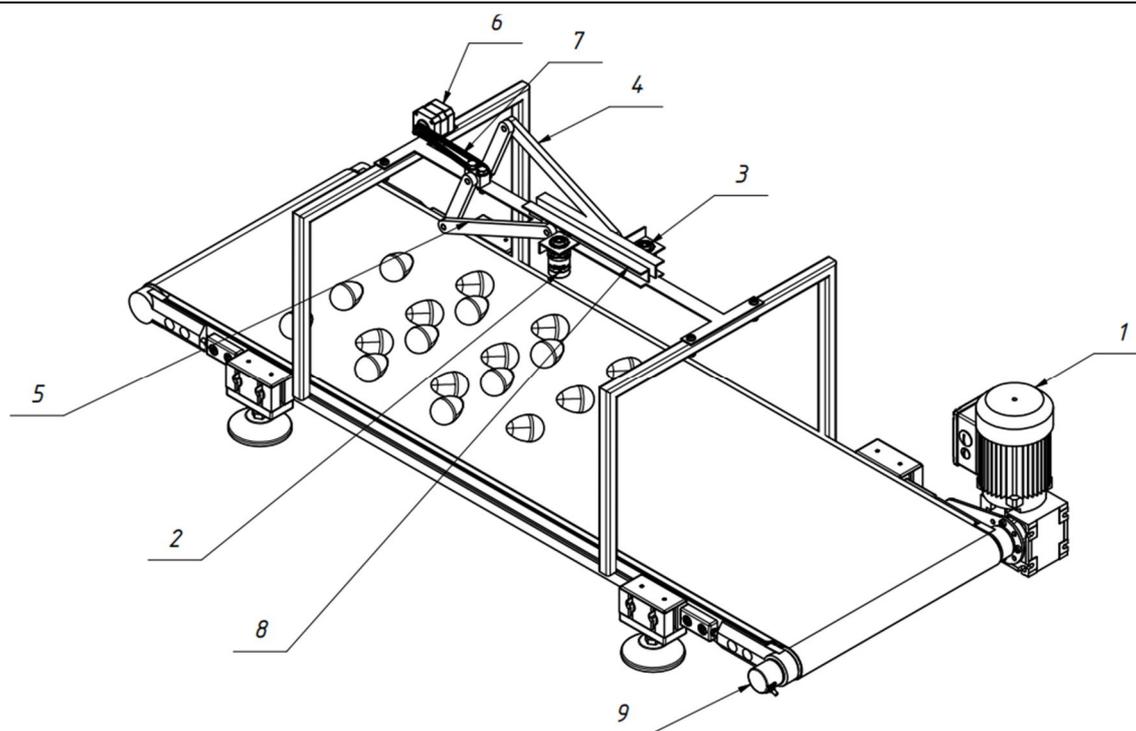
В настоящей работе предлагается новый подход к решению проблемы размытия в движении при съёмке объектов на конвейерной линии. Вместо использова-

ния стационарной камеры предлагается использование подвижной камеры, движение которой синхронизировано с движением конвейерной ленты. Такая синхронизация позволяет минимизировать относительную скорость между камерой и объектом, что значительно уменьшает или полностью устраняет эффект размытия.

Устройство для компенсации размытия движущихся объектов в реальном времени включает в себя неподвижную раму, которая является основой устройства и крепится к конвейеру 9, управляемому двигателем 1, серводвигатель 6, закрепленный на раме и осуществляющий движение кривошипно-ползунных механизмов 4 и 5 при помощи цепи 7, которые осуществляют движение ползуну вперед-назад по направляющей 8, на которых закреплены видеокамеры 2 и 3, передающие данные на компьютер с запущенной программой технического зрения. Такая кинематическая схема двойного КПП является самоуравновешенной и не требует дополнительной балансировки.

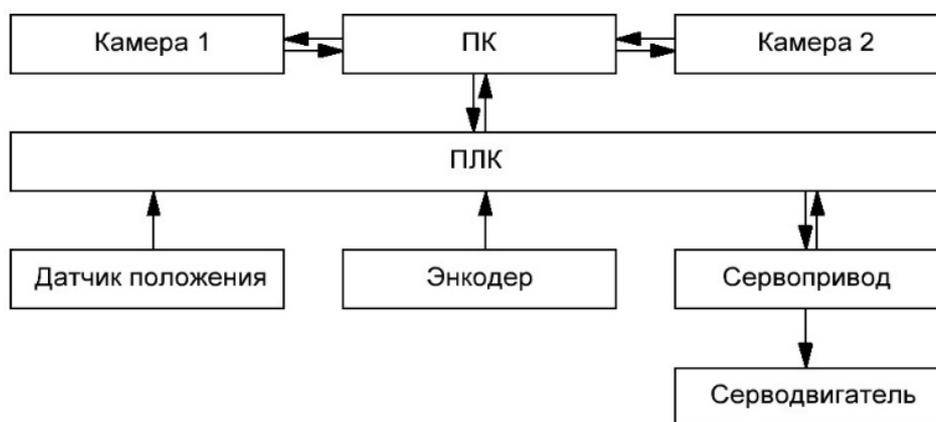
Общий вид предлагаемого устройства представлен на рис. 1.

Дополнительно устройство содержит датчик нулевого положения, установленный над серводвигателем, энкодер, установленный на валу конвейера для измерения скорости, программируемый контроллер, который выдает сигнал на видеокамеры для получения кадров и управляет скоростью двигателя на основе данных с энкодера (рис. 2).



**Рис. 1.** Общий вид устройства

**Fig. 1.** General View of the Device



**Рис. 2.** Функциональная схема связей устройства

**Fig. 2.** Functional Diagram of Device Connections

Перед началом работы осуществляется определение начального направления движения видеокамер посредством взаимодействия оператора с персональным компьютером, а также идентификация начального положения электродвигателя.

Производится запуск программы технического зрения, а также устройства компенсации размытости изображения в режиме реального времени при помощи датчика нулевого положения. После того, как устройство готово к работе, электро-

двигатель конвейера начинает вращение. На конвейер подаются инспектируемые объекты, которыми могут являться, например, капсульные таблетки или птичьи яйца. Скорость движения конвейера поддерживается постоянной. Программируемый логический контроллер производит подсчет количества импульсов инкрементального энкодера, установленного на валу конвейера, и вычисляет его текущую скорость. Сервоусилитель получает задание скорости из программируемого логического контроллера, и начинает вращение электродвигателя устройства. Электродвигатель приводится в движение сервоусилителем, при помощи цепи, приводит в движение кривошипы, которые обеспечивают плоско-параллельное движение шатунов, осуществляющих линейное движение ползунов, установленных на направляющей, а также закреплённых на них видеокамер. Благодаря жёсткости конструкции, образующей неподвижную пространственную раму, установленную над конвейером, обеспе-

чивается компенсация дрожания видеоизображения, полученного с камер.

Скорость движения видеокамер в определённой точке пути ползуна задётся таким образом, чтобы она совпадала со скоростью движения конвейера, и, соответственно, всех объектов на нём, благодаря чему удастся обеспечить компенсацию размытости без добавления искажений в изображение. Скорости ползунов вычисляются из уравнения:

$$v_p = \omega \cdot \left( -r \sin \alpha - \frac{r^2 \sin \alpha \cos \alpha}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \alpha}} \right), \quad (1)$$

где  $v_p$  – скорость ползуна;  $r$  – радиус кривошипа;  $l$  – длина шатуна;  $\alpha$  – угол поворота шатуна относительно мёртвой точки;  $\omega$  – угловая скорость кривошипа (рис. 3). Поскольку угол между кривошипами, а также положение вала электродвигателя известны, имеется возможность вычислить позицию и скорость кривошипов, при которых линейная скорость ползунов будет максимальной (рис. 4).

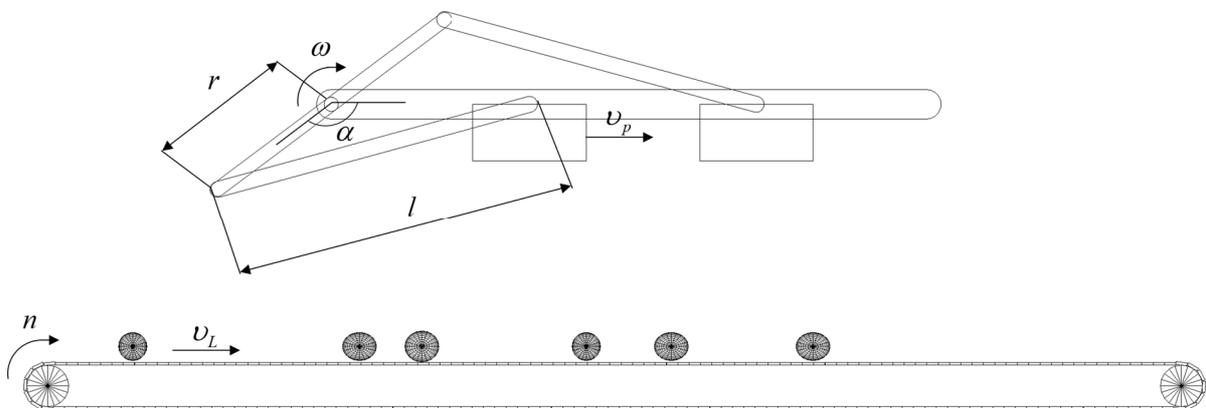
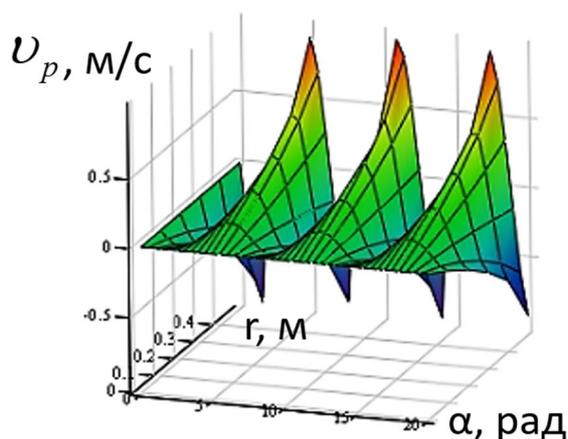


Рис. 3. Схематический чертёж системы

Fig. 3. Schematic drawing of the system



**Рис. 4.** Зависимость скорости ползуна от длины  $r$  и текущего угла кривошипа  $\alpha$  при длине шатуна  $l = 0,5$  м и угловой скорости кривошипа  $\omega = 1$  рад/с

**Fig. 4.** The slider's velocity dependence on the stroke length  $r$  and the current crank angle  $\alpha$ , given a connecting rod length  $l = 0.5$  m and a crank angular velocity  $\omega = 1$  rad/s

Для того, чтобы найти максимальную линейную скорость, необходимо найти производную:

$$\begin{aligned} \frac{dv_p}{d\alpha} = & \frac{r^2 \sin^2 \alpha}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \alpha}} - \\ & - \frac{r^2 \cos^2 \alpha}{\sqrt{l^2 - r^2 \sin^2 \alpha}} - r \cos \alpha - \\ & - \frac{r^4 \sin^2 \alpha \cos^2 \alpha}{(l^2 - r^2 \sin^2 \alpha)^{\frac{3}{2}}}, \end{aligned} \quad (2)$$

приравнять её к нулю, и решив полученное уравнение при помощи численных методов определить угол  $\alpha$ . Например, при длине шатуна  $l = 0,5$  м и длине кривошипа  $r = 0,1$  м, угол, при котором обеспечивается максимальная скорость ползунков  $\alpha \approx 63,66$  град.

С целью устранения эффекта размытия, необходимо обеспечить угловую

скорость вала электродвигателя устройства такую, чтобы в момент максимальной линейной скорости кривошипов, она равнялась линейной скорости конвейера, которая определяется по формуле

$$v_L = n \cdot \frac{\pi d_1}{60}, \quad (3)$$

где  $v_L$  – линейная скорость конвейера;  $d_1$  – диаметр вала;  $n$  – угловая скорость электродвигателя конвейера. В свою очередь, угловая скорость электродвигателя определяется как:

$$n = \frac{\Delta N_p}{k \Delta T}, \quad (4)$$

где  $N_p$  – количество насчитанных импульсов инкрементального энкодера за время  $T$ ;  $k$  – коэффициент, равный количеству импульсов на оборот инкрементального энкодера.

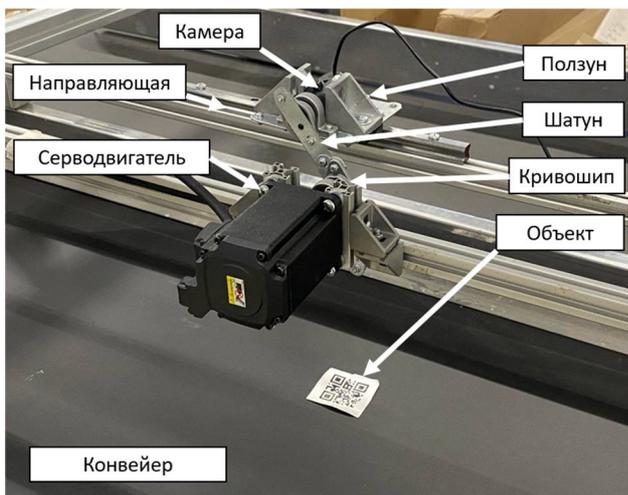
В момент, когда одна из видеокамер проходит через расчётное положение, в котором линейная скорость соответствующего ползуна максимальна, программируемый логический контроллер выдаёт сигнал для персонального компьютера, который инициализирует получение кадра для соответствующей видеокамеры. Поскольку начальное положение видеокамер было задано оператором, следовательно, программируемый логический контроллер обеспечивает выдачу сигнала на получение кадра только при сонаправленном движении определённой видеокамеры и конвейера, обеспечивая компенсацию размытия без ошибок.

После получения кадра без размытия, он обрабатывается системой технического зрения. Следующее положение вала электродвигателя устройства, при котором будет проводить съёмку вторая видеокамера, также вычисляется программируемым логическим контроллером. Данные операции происходят циклично в течение всего времени работы устройства.

### Результаты и их обсуждение

Для оценки эффективности разработанной системы было проведено сравнение работы системы технического зрения со статической камерой и с подвижной при движении объектов на ленте конвейера с различной скоростью.

Общий вид экспериментальной установки, с помощью которой проводилось тестирование, представлен на рис. 5.



**Рис. 5.** Общий вид экспериментальной установки

**Fig. 5.** General View of the experimental setup

В качестве характеристики эффективности работы системы был использован метод оценки величины размыто-

сти изображений, основанный на анализе частотного спектра. Метод использует двумерное дискретное преобразование Фурье для преобразования изображения  $f(x,y)$  в частотную область.

$$F(u,v) = \mathbf{F}\{f(x,y)\}. \quad (5)$$

Функция  $F(u,v)$  представляет изображение как сумму синусоидальных волн разных частот и направлений. Высокие частоты соответствуют резким изменениям в изображении (например, краям, деталям). Низкие частоты соответствуют плавным изменениям (например, общему освещению, фону). Размытие "сглаживает" изображение, подавляя высокие частоты. Размытое изображение будет иметь меньше высокочастотных компонентов по сравнению с четким изображением. Затем вычисляется величина частотного спектра в децибелах с использованием логарифмического масштаба, и среднее значение этой величины используется в качестве метрики размытости.

$$L = 20 \cdot \log(|F(u,v)|). \quad (6)$$

В размытом изображении энергия в основном сосредоточена в низких частотах, а высокие частоты будут иметь низкие значения в дБ.

Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Исходя из данных эксперимента можно сделать вывод, что подвижная камера обеспечивает существенную компенсацию искажений, и может применяться в том числе на больших скоростях конвейерных линий.

Таблица 1. Результаты эксперимента

Table 1. Experimental Results

Скорость объекта / Object speed	0 см/с	30 см/с	60 см/с	100 см/с
Статичная камера				
Размытость, дБ	148,4	134,9	124,7	104,1
Подвижная камера				
Размытость, дБ	144,2	143,6	138,4	131,2

## Выводы

В представленной работе был предложен и исследован новый метод уменьшения эффекта размытия снимков объектов на конвейерных линиях с помощью подвижных камер. В отличие от традиционных систем технического зрения, использующих стационарные камеры, разработанная система основана на использовании подвижной камеры, синхронизированной с движением конвейерной ленты. Экспериментальные результаты продемонстрировали, что предложенный подход позволяет значительно уменьшить или полностью устранить эффект размытия, что приводит к существенному улучшению качества получаемых изображений и, как следствие, к повышению эффективности работы системы технического зрения в целом. Благодаря более чётким изображениям, повышается точность идентификации объектов, измерения их размеров, обнаружения дефектов и выполнения других задач,

критически важных для автоматизации контроля. Однако система требует точной синхронизации движения камеры и конвейера. Кроме того, техническая реализация метода может быть сопряжена с определёнными сложностями, связанными с обеспечением надёжности и долговечности механических узлов, особенно это актуально в условиях функционирования на промышленном производстве.

Тем не менее, полученные результаты открывают широкие перспективы для дальнейшего развития и применения данного подхода. В будущем планируется исследовать возможность использования разработанной системы в сочетании с другими методами борьбы с размытием, такими как адаптивная выдержка и программная компенсация размытия. Также перспективным направлением является разработка более компактных и универсальных систем, которые могут быть легко интегрированы в существующие конвейерные линии без значительных изменений в их конструкции.

### Список литературы

1. Огурцов С.Н., Краснопёров Н.С., Бушуев Д.А. Сравнительный анализ способов построения системы технического зрения: неподвижная, широкоугольная и подвижная камеры // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2024. № 5. С. 482-486.
2. Огурцов С.Н., Бушуев Д.А. Обзор методов построения систем автоматической сортировки объектов на конвейере с использованием экстремального и нейросетевого управления // Уральский научный вестник. 2023. № 6. С. 3-12.
3. Огурцов С.Н., Бушуев Д.А. Автоматизация подсчёта яиц птицы при помощи системы технического зрения // Научные технологии и инновации (XXV научные чтения): сборник докладов Международной научно-практической конференции. Белгород, 2023. С. 843-847.
4. Savelyev N., Ermolaev K. Automation of poultry egg counting through neural network processing of the conveyor video stream // AIP Conference Proceedings. 2022. № 2486. P. 020026. <https://doi.org/10.1063/5.0106117>.
5. Classification of Overlapping Eggs Based on Image Processing / B. Purahong, W. Krungseanmuang, V. Chaowalittawin, T. Pume, T. Kanjanasurat, A. Lasakul // Journal of Physics Conference Series. 2022. №2261. P. 012023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2261/1/012023>.
6. Sulistiyowati I., Ichsan H. M., Anshory I. Object Sorting Conveyor with Detection Color Using ESP-32 Camera Python Based on Open-CV // JEECS. Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences. 2024. 9(1): 61-68. <https://doi.org/10.54732/jeeecs.v9i1.7>.
7. A Faster and Lighter Detection Method for Foreign Objects in Coal Mine Belt Conveyors. / B. Luo, Z. Kou, C. Han, J. Wu, S. Liu // Sensors. 2023. Vol. 23, № 14. P. 6276. <https://doi.org/10.3390/s23146276>.
8. Smart Counting System Based on Object Detection Using Deep Learning / J. Moon, S. Lim, H. Lee, S. Yu, K.-B. Lee // Remote Sens. 2022. Vol. 14, №15. P. 3761. <https://doi.org/10.3390/rs14153761>.
9. Temporal-Quality Ensemble Technique for Handling Image Blur in Packaging Defect Inspection / G.-J. Son, H.-C. Jung, Y.-D. Kim // Sensors. 2024. Vol. 24, №14. P. 4438. <https://doi.org/10.3390/s24144438>.
10. Vision-Based Sorting Systems for Transparent Plastic Granulate / T. Peršak, B. Viltušnik, J. Hernalš, S. Klančnik // Applied Science. 2020. Vol. 10 №12. P. 4269. <https://doi.org/10.3390/app10124269>.
11. Research on Belt Deviation Fault Detection Technology of Belt Conveyors Based on Machine Vision / X. Wu, C. Wang, Z. Tian, X. Huang, Q. Wang // Machines. 2023. Vol. 11, №12. P. 1039. <https://doi.org/10.3390/machines11121039>.

12. Huseynova G. H., Mammadov J. F. Mathematical and algorithmic support of the technical vision system of flexible production system // *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer science and informatics*. 2023. №4. P. 26-32. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-4-26-32>.

13. Coal Gangue Target Detection Based on Improved YOLOv5s. / S. Wang, J. Zhu, Z. Li, X. Sun, G. Wang // *Applied Science*. 2023. Vol. 13, №20. P. 11220 <https://doi.org/10.3390/app132011220>.

14. Патент США 17/119336, 31.01.2023 «Method and electronic device for deblurring blurred image» // United States Patent №11568518B2 / T. Gollanapalli, K. Marupalli.

15. Murakami K., Hayakawa T., Ishikawa M. Hybrid surface measuring system for motion-blur compensation and focus adjustment using a deformable mirror // *Applied Optics*. 2022. Vol. 61, № 2. P. 429-438. <https://doi.org/10.1364/AO.442987>.

16. Angle of View Switching Method at High-Speed Using Motion Blur Compensation for Infrastructure Inspection / Y. Ezaki, Y. Moko, T. Hayakawa, M. Ishikawa // *Journal of Robotics and Mechatronics*. 2022. Vol. 34, № 5. P. 985-996. <https://doi.org/10.20965/jrm.2022.p0985>.

17. Hayakawa T., Watanabe T., Ishikawa M. Real-time high-speed motion blur compensation system based on back-and-forth motion control of galvanometer mirror // *Opt. Express*. 2015. Vol.23, № 25. P. 31648-31661.

18. High-speed Imaging Technology Using Motion-blur Compensation for Infrastructure Inspection / T. Hayakawa, Y. Kubota, Y. Moko, Y. Ke, M. Ishikawa // *Japanese Journal of Optics*. 2021. Vol. 50, № 2. P. 61-67.

19. Extension of the Capture Range Under High-Speed Motion Using Galvanometer Mirror / Y. Ezaki, Y. Moko, H. Ikeda, T. Hayakawa, M. Ishikawa // 2020 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. P. 1854-1859. <https://doi.org/10.1109/AIM43001.2020.9159039>.

20. High-speed motion blur compensation system in infrared region using galvanometer mirror and thermography camera / Y. Kubota, T. Hayakawa, Y. Ke, Y. Moko, M. Ishikawa // *SPIE Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems*. 2020. P. 1137919. <https://doi.org/10.1117/12.2558450>.

## References

1. Ogurtsov S.N., Krasnopyorov N.S., Bushuev D.A. Comparative analysis of methods for constructing a machine vision system: stationary, wide-angle and moving cameras. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Tekhnicheskie Nauki = Bulletin of Tula State University. Engineering Sciences*. 2024; (5): 482-486 (In Russ.).

2. Ogurtsov S.N., Bushuev D.A. Review of methods for constructing automatic object sorting systems on a conveyor using extremal and neural network control. *Ural'skiy Nauchnyy Vestnik = Ural Scientific Bulletin*. 2023; (6): 3-12 (In Russ.).

3. Ogurtsov S.N., Bushuev D.A. Automation of poultry egg counting using a machine vision system. In: *Naukoemkie tekhnologii i innovatsii. Sbornik Dokladov Mezhdunarodnoy Nauchno-Prakticheskoy Konferentsii (XXV Nauchnye Chteniya) = High-tech technologies and innovations. Collection of Reports of the International Scientific and Practical Conference (XXV Scientific Readings)*. Belgorod; 2023; (25): 843-847 (In Russ.).

4. Savelyev N., Ermolaev K.. Automation of poultry egg counting through neural network processing of the conveyor video stream. *AIP Conference Proceedings*. 2022; 2486 (1):020026. <https://doi.org/10.1063/5.0106117>.

5. Purahong B., Krungseanmuang W., Chaowalittawin V., Pume T., Kanjanasurat T., Lasakul A. Classification of Overlapping Eggs Based on Image Processing. *Journal of Physics Conference Series*. 2022. 2261(1):012023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2261/1/012023>.

6. Sulistiyowati I., Ichsan H. M., Anshory I. Object Sorting Conveyor with Detection Color Using ESP-32 Camera Python Based on Open-CV. *JEECS. Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*. 2024; 9(1):61-68. <https://doi.org/10.54732/jeeecs.v9i1.7>.

7. Luo B., Kou Z., Han C., Wu J., Liu S. A Faster and Lighter Detection Method for Foreign Objects in Coal Mine Belt Conveyors. *Sensors*. 2023; 23(14): 6276. <https://doi.org/10.3390/s23146276>.

8. Moon J., Lim S., Lee H., Yu S., Lee K.-B. Smart Counting System Based on Object Detection Using Deep Learning. *Remote Sens*. 2022; 14(15):3761. <https://doi.org/10.3390/rs14153761>.

9. Son G.-J., Jung H.-C., Kim Y.-D. Temporal-Quality Ensemble Technique for Handling Image Blur in Packaging Defect Inspection. *Sensors*. 2024; 24(14):4438. <https://doi.org/10.3390/s24144438>.

10. Peršak T., Viltužnik B., Hernavs J., Klančnik S. Vision-Based Sorting Systems for Transparent Plastic Granulate. *Applied Science*. 2020; 10(12):4269 <https://doi.org/10.3390/app10124269>.

11. Wu X., Wang C., Tian Z., Huang X., Wang Q. Research on Belt Deviation Fault Detection Technology of Belt Conveyors Based on Machine Vision. *Machines*. 2023; 11(12):1039. <https://doi.org/10.3390/machines11121039>.

12. Huseynova G. H., Mammadov J. F. Mathematical and algorithmic support of the technical vision system of flexible production system. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer science and informatics*. 2023; (4):26-32. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-4-26-32>.

13. Wang S., Zhu J., Li Z., Sun X., Wang G. Coal Gangue Target Detection Based on Improved YOLOv5s. *Applied Science*. 2023; 13(20):11220. <https://doi.org/10.3390/app132011220>.

14. US Patent 17/119336, 01/31/2023 "Method and electronic device for deblurring blurred image" // United States Patent No. 11568518B2 / T. Gollanapalli, K. Marupalli.

15. Murakami K., Hayakawa T., Ishikawa M. Hybrid surface measuring system for motion-blur compensation and focus adjustment using a deformable mirror. *Applied Optics*. 2022; 61(2):429-438. <https://doi.org/10.1364/AO.442987>.

16. Ezaki Y., Moko Y., Hayakawa T., Ishikawa M.: Angle of View Switching Method at High-Speed Using Motion Blur Compensation for Infrastructure Inspection. *Journal of Robotics and Mechatronics*. 2022; 34(5): 985-996. <https://doi.org/10.20965/jrm.2022.p0985>.

17. Hayakawa T., Watanabe T., Ishikawa M. Real-time high-speed motion blur compensation system based on back-and-forth motion control of galvanometer mirror. *Opt. Express*. 2015; 23(25):31648-31661.

18. Hayakawa T., Kubota Y., Moko Y., Ke Y., Ishikawa M. High-speed Imaging Technology Using Motion-blur Compensation for Infrastructure Inspection. *Japanese Journal of Optics*. 2021. 50(2):61-67.

19. Ezaki Y., Moko Y., Ikeda H., Hayakawa T., Ishikawa M. Extension of the Capture Range Under High-Speed Motion Using Galvanometer Mirror. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*. 2020; 1854-1859. <https://doi.org/10.1109/AIM43001.2020.9159039>.

20. Kubota Y., Hayakawa T., Ke Y., Moko Y., Ishikawa M. High-speed motion blur compensation system in infrared region using galvanometer mirror and thermography camera. *SPIE Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems*. 2020; 1137919. <https://doi.org/10.1117/12.2558450>.

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Бушуев Дмитрий Александрович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технической кибернетики, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация, e-mail: [dmbushuev@gmail.com](mailto:dmbushuev@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5433-2463>

**Dmitry A. Bushuev**, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Technical Cybernetics Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation, e-mail: [dmbushuev@gmail.com](mailto:dmbushuev@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5433-2463>

**Огурцов Сергей Николаевич**, аспирант кафедры технической кибернетики, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Российская Федерация, e-mail: [clockyouu@gmail.com](mailto:clockyouu@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4867-2044>

**Sergey N. Ogurtsov**, Post-Graduate Student of the Technical Cybernetics Department, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation, e-mail: [clockyouu@gmail.com](mailto:clockyouu@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4867-2044>