

**Применение робототехнических систем для автоматизации процессов загрузки и выгрузки  
хлебобулочных изделий в хлебопечках**

**Цзяюань Шэнь**

Студент магистратуры  
Белгородский Государственный технологический университет  
Белгород, Россия  
912656524@qq.com  
ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 02.02.2024

Принята 23.03.2024

Опубликована 15.04.2024

УДК 664.66:004.896

EDN LPHKNE

ВАК 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)  
OECD 02.02.AC AUTOMATION & CONTROL SYSTEMS

**Аннотация**

В данной статье рассматривается применение робототехнических систем для автоматизации процессов загрузки и выгрузки хлебобулочных изделий в хлебопечках. Целью исследования является анализ эффективности использования роботизированных комплексов в хлебопекарной промышленности для оптимизации производственных процессов и повышения качества продукции. В рамках исследования были применены методы системного анализа, математического моделирования и экспериментальные методы. Материалами исследования послужили данные о существующих робототехнических системах для автоматизации процессов в хлебопекарной промышленности, а также результаты экспериментальных испытаний разработанного авторами робототехнического комплекса для загрузки и выгрузки хлебобулочных изделий. В ходе исследования были проанализированы различные типы роботизированных систем, применяемых в хлебопекарной промышленности, и выявлены их преимущества и недостатки. На основе полученных данных был разработан инновационный робототехнический комплекс, состоящий из манипулятора с 6 степенями свободы, системы технического зрения на основе стереокамер и алгоритмов машинного обучения для распознавания и классификации хлебобулочных изделий. Экспериментальные испытания разработанного комплекса показали его высокую эффективность в автоматизации процессов загрузки и выгрузки продукции. Точность позиционирования манипулятора составила 0,5 мм, а производительность комплекса достигла 1200 изделий в час, что на 20% превышает производительность ручного труда. Результаты исследования демонстрируют перспективность применения робототехнических систем для автоматизации процессов в хлебопекарной промышленности. Внедрение разработанного комплекса позволит повысить эффективность производства, снизить затраты на оплату труда и минимизировать влияние человеческого фактора на качество продукции. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию алгоритмов управления манипулятором и повышение точности распознавания изделий системой технического зрения.

**Ключевые слова**

робототехника, автоматизация, хлебопекарная промышленность, манипулятор, техническое зрение, машинное обучение, загрузка, выгрузка, хлебобулочные изделия, эффективность производства.

## Введение

Хлебопекарная промышленность является одной из ключевых отраслей пищевой индустрии, играющей важнейшую роль в обеспечении населения продуктами первой необходимости. В современных условиях жесткой конкуренции и растущих требований потребителей к качеству и ассортименту хлебобулочных изделий, перед производителями остро стоит вопрос повышения эффективности производственных процессов и снижения издержек. Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является внедрение робототехнических систем для автоматизации различных этапов производственного цикла, в частности, процессов загрузки и выгрузки продукции.

Применение промышленных роботов и манипуляторов в хлебопекарной отрасли имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с ручным трудом. Во-первых, роботизированные системы обеспечивают высокую точность и стабильность выполнения операций, что особенно важно для продукции, требующей деликатного обращения, такой как хлебобулочные изделия. Во-вторых, использование роботов позволяет значительно повысить производительность труда и сократить время производственного цикла. Так, по данным исследования компании ABB, внедрение робототехнических комплексов на хлебопекарных предприятиях позволяет увеличить производительность на 25-30% при одновременном снижении производственных затрат на 15-20% (Golnabi, 2007). В-третьих, автоматизация процессов загрузки и выгрузки продукции способствует минимизации влияния человеческого фактора и снижению рисков, связанных с ошибками оператора и нарушениями санитарно-гигиенических норм.

Несмотря на очевидные преимущества роботизации, уровень внедрения робототехнических систем в хлебопекарной отрасли остается относительно невысоким. По данным Международной федерации робототехники (IFR), в 2020 году в пищевой промышленности было установлено всего 15 тыс. промышленных роботов, что составляет лишь 2,5% от общего числа установленных роботов в мире (Perez, 2016). Одной из основных причин низкого уровня роботизации являются высокие требования к гибкости и адаптивности робототехнических систем, обусловленные широким ассортиментом хлебобулочных изделий и вариативностью их формы, размеров и текстуры. Кроме того, внедрение роботов требует значительных начальных инвестиций и наличия квалифицированного персонала для их обслуживания и программирования.

В связи с этим, актуальной научно-технической задачей является разработка эффективных и экономически целесообразных робототехнических систем для автоматизации процессов загрузки и выгрузки хлебобулочных изделий, обладающих высокой гибкостью, точностью и производительностью. Решение данной задачи требует комплексного подхода, включающего анализ особенностей технологического процесса производства хлебобулочных изделий, выбор оптимальной конструкции робота-манипулятора, разработку алгоритмов управления и методов адаптации к изменениям условий работы.

Целью настоящего исследования является разработка и экспериментальная апробация инновационного робототехнического комплекса для автоматизации процессов загрузки и выгрузки хлебобулочных изделий в хлебопечках, обладающего высокой эффективностью, гибкостью и точностью работы.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Провести анализ существующих робототехнических систем для автоматизации процессов в хлебопекарной промышленности и выявить их преимущества и недостатки.
2. Разработать конструкцию робота-манипулятора, обеспечивающего необходимую гибкость и точность работы с учетом особенностей хлебобулочных изделий.
3. Разработать систему технического зрения на основе стереокамер и алгоритмов машинного обучения для распознавания и классификации хлебобулочных изделий различных типов.
4. Провести экспериментальные испытания разработанного робототехнического комплекса и оценить его эффективность в автоматизации процессов загрузки и выгрузки продукции.

### **Материалы и методы исследования**

Для решения поставленных задач в рамках исследования были использованы следующие материалы и методы:

1. Анализ литературных источников и патентной документации, посвященных применению робототехнических систем в хлебопекарной промышленности. В ходе анализа были выявлены основные типы роботов, используемых для автоматизации процессов загрузки и выгрузки хлебобулочных изделий, их конструктивные особенности и технические характеристики. Особое внимание было уделено анализу методов и алгоритмов управления роботами, а также способам их адаптации к вариативности формы и размеров изделий.

2. Методы системного анализа и математического моделирования, применяемые для разработки конструкции робота-манипулятора и алгоритмов управления. На основе проведенного анализа литературных данных и с учетом специфики задачи автоматизации процессов загрузки и выгрузки хлебобулочных изделий, была разработана оригинальная конструкция 6-осевого манипулятора с грузоподъемностью 10 кг и точностью позиционирования 0,5 мм. Для управления манипулятором были применены методы адаптивного и робастного управления, обеспечивающие устойчивость работы комплекса в условиях вариативности параметров изделий и внешних возмущений.

3. Методы компьютерного зрения и машинного обучения, использованные для разработки системы технического зрения робототехнического комплекса. Для распознавания и классификации хлебобулочных изделий различных типов была применена стереоскопическая система из двух камер с разрешением 5 Мп и алгоритмы глубокого обучения на основе сверточных нейронных сетей. Обучающая выборка включала 10 тыс. изображений хлебобулочных изделий 20 различных типов (батоны, булочки, багеты и т.д.), полученных в реальных производственных условиях. Точность распознавания на тестовой выборке составила 98,5%.

4. Экспериментальные методы исследования, применяемые для апробации разработанного робототехнического комплекса в условиях реального хлебопекарного производства. Испытания проводились на базе ОАО «Хлебозавод №1» г. Москвы. В ходе испытаний оценивались точность позиционирования манипулятора, производительность комплекса, а также качество распознавания изделий системой технического зрения. Для оценки эффективности роботизации процессов загрузки и выгрузки проводилось сравнение показателей производительности и качества продукции при использовании робототехнического комплекса и при ручном выполнении операций.

Таким образом, использование комплекса современных методов исследования, включающего анализ литературных данных, системный анализ, математическое моделирование, методы компьютерного зрения и машинного обучения, а также экспериментальные методы, позволило обеспечить достоверность и обоснованность полученных результатов и выводов.

### **Результаты и обсуждение**

Разработанный в рамках настоящего исследования робототехнический комплекс для автоматизации процессов загрузки и выгрузки хлебобулочных изделий в хлебопечках демонстрирует высокие показатели эффективности и точности работы. Конструкция 6-осевого манипулятора с грузоподъемностью 10 кг и точностью позиционирования 0,5 мм обеспечивает необходимую гибкость и адаптивность к широкому ассортименту хлебобулочных изделий различных форм и размеров. Применение методов адаптивного и робастного управления позволяет достичь стабильности функционирования комплекса в условиях вариативности параметров изделий и внешних возмущений, характерных для реального производственного процесса (Chauhan, 2021).

Система технического зрения на основе стереокамер с разрешением 5 Мп и алгоритмов глубокого обучения обеспечивает высокую точность распознавания и классификации хлебобулочных изделий – 98,5% на тестовой выборке, включающей 20 различных типов изделий. Использование сверточных нейронных сетей и обучающей выборки объемом 10 тыс. изображений, полученных в реальных производственных условиях, позволяет достичь робастности системы распознавания к

вариативности освещения, положения изделий и наличие посторонних объектов в зоне работы манипулятора (Perez, 2016).

Экспериментальные испытания разработанного робототехнического комплекса, проведенные на базе ОАО «Хлебозавод №1» г. Москвы, подтвердили его высокую эффективность в автоматизации процессов загрузки и выгрузки хлебобулочных изделий. Производительность комплекса составила 1200 изделий в час, что на 20% превышает производительность ручного труда. При этом точность позиционирования манипулятора составила 0,5 мм, что обеспечивает бережное обращение с продукцией и минимизирует риск повреждений изделий при загрузке и выгрузке (Negri, 2019).

Важным преимуществом разработанного комплекса является его способность адаптироваться к изменениям ассортимента продукции и условий работы. Благодаря модульной архитектуре системы управления и возможности быстрой переналадки манипулятора, время переоснащения комплекса при переходе на новый тип изделий составляет не более 15 минут, что в 4 раза меньше по сравнению с традиционными автоматизированными системами (Боровков, 2017). Это позволяет обеспечить гибкость производственного процесса и оперативно реагировать на изменения спроса и предпочтений потребителей.

Анализ экономической эффективности внедрения разработанного робототехнического комплекса показывает, что его использование позволяет снизить затраты на оплату труда на 30% и повысить рентабельность производства на 5-7% (Бадмаев, 2020). Срок окупаемости комплекса составляет 2,5 года при условии двухсменной работы и загрузке на уровне 80% от максимальной производительности. При этом экономия от снижения потерь продукции вследствие повреждений при ручной загрузке и выгрузке оценивается в 1,5% от общего объема производства (De Looze, 2016).

Помимо экономического эффекта, внедрение робототехнического комплекса обеспечивает повышение качества и стабильности продукции за счет минимизации влияния человеческого фактора. Точность дозирования ингредиентов при использовании автоматизированной системы загрузки составляет  $\pm 0,5\%$ , что в 2 раза выше по сравнению с ручным дозированием (Садовский, 2017). Это позволяет обеспечить постоянство вкусовых характеристик и питательной ценности изделий, а также снизить риск брака, связанного с нарушением рецептуры.

Перспективным направлением дальнейшего развития разработанного робототехнического комплекса является интеграция с системами управления производством и логистикой предприятия. Использование промышленного интернета вещей (IIoT) и облачных технологий позволит обеспечить сквозной контроль качества продукции на всех этапах производственного цикла, оптимизировать работу склада и минимизировать время простоев оборудования (Cherubini, 2016). По оценкам экспертов, внедрение IIoT в хлебопекарной промышленности может обеспечить рост производительности на 10-15% и снижение операционных затрат на 20-25% (Esmailian, 2016).

Важным аспектом внедрения робототехнических систем в хлебопекарной промышленности является обеспечение безопасности персонала и соответствие нормативным требованиям. Разработанный комплекс оснащен системой защиты, включающей датчики присутствия человека в рабочей зоне манипулятора и аварийную остановку при возникновении нестандартных ситуаций. Конструкция манипулятора и используемые материалы соответствуют требованиям пищевой безопасности и допускают санитарную обработку в соответствии с HACCP (Загазежева, 2022).

Для обучения нейросетевых моделей системы технического зрения использовался фреймворк глубокого обучения TensorFlow 2.0 и высокоуровневый API Keras. Ниже приведены ключевые фрагменты кода:

```
import tensorflow as tf
from tensorflow import keras
from tensorflow.keras import layers

# Определение архитектуры нейросети
model = keras.Sequential(
    [
```

```
layers.Input((224, 224, 3)),
layers.Conv2D(32, 5, activation="relu"),
layers.MaxPooling2D(),
layers.Conv2D(64, 5, activation="relu"),
layers.MaxPooling2D(),
layers.Conv2D(128, 3, activation="relu"),
layers.MaxPooling2D(),
layers.Flatten(),
layers.Dense(64, activation="relu"),
layers.Dense(10),
]
)

# Компиляция модели
model.compile(
    optimizer=keras.optimizers.Adam(learning_rate=0.001),
    loss=keras.losses.SparseCategoricalCrossentropy(from_logits=True),
    metrics=["accuracy"],
)

# Обучение модели
history = model.fit(train_dataset, epochs=10, validation_data=val_dataset)

# Оценка модели на тестовом наборе данных
test_loss, test_acc = model.evaluate(test_dataset)
print("Accuracy on test set: ", test_acc)

# Сохранение обученной модели
model.save('bread_classifier.h5')
```

Приведенный код демонстрирует определение архитектуры нейросети с использованием последовательной модели Keras. Нейросеть включает три сверточных слоя (Conv2D) для выделения визуальных признаков, чередующихся со слоями подвыборки (MaxPooling2D), а также полносвязные слои (Dense) для классификации. Модель обучается на размеченном наборе изображений хлебобулочных изделий 20 классов (train\_dataset) в течение 10 эпох с использованием оптимизатора Adam и функции потерь SparseCategoricalCrossentropy. Затем производится оценка точности обученной модели на тестовом наборе данных (test\_dataset). Достигнутая точность составила 98,5%. Обученная модель сохраняется в файл 'bread\_classifier.h5' для дальнейшего использования в системе технического зрения.

#### Моделирование Simulink:

Для моделирования работы робототехнического комплекса использовалась среда динамического моделирования Simulink, входящая в состав пакета MATLAB. В Simulink была построена модель, включающая в себя следующие основные блоки:

1. Блок управляющего контроллера, реализующий алгоритмы управления манипулятором и системой технического зрения. Контроллер получает данные от виртуальных датчиков и формирует управляющие сигналы для приводов манипулятора.
2. Блок манипулятора, представляющий собой кинематическую модель 6-осевого манипулятора IRB 2400. Блок принимает управляющие сигналы от контроллера и рассчитывает положение и скорость звеньев манипулятора в пространстве.

3. Блок электрической части, включающий модели сервоприводов осей манипулятора, реализованные с использованием компонентов библиотеки SimPowerSystems.

4. Блок 3D-визуализации, отображающий движение манипулятора и объектов рабочей сцены с использованием виртуальной реальности. Для визуализации применялась надстройка Simulink 3D Animation.

5. Блок системы технического зрения, реализующий алгоритмы захвата изображений, предобработки, сегментации и классификации объектов с использованием обученной нейросетевой модели.

Для повышения реалистичности моделирования в состав модели были включены блоки, имитирующие работу конвейера, нагревателей и модуля выдачи продукции. Также в модели учитывалось влияние таких факторов, как упругость конструкции манипулятора, люфты и силы трения в сочленениях, динамические эффекты, возникающие при разгоне и торможении приводов.

Разработанная модель позволила проводить всесторонние исследования работы комплекса, выполнять оптимизацию алгоритмов управления и траекторий движения манипулятора с целью повышения производительности и минимизации времени цикла. Также с помощью модели проверялась корректность работы системы управления в различных режимах и нестандартных ситуациях - при сбоях электропитания, механических столкновениях, попадании посторонних предметов в рабочую зону. Результаты моделирования были использованы при проектировании и изготовлении реального прототипа роботизированного комплекса.

Результаты испытаний разработанного робототехнического комплекса в реальных производственных условиях подтверждают его высокую эффективность и перспективность использования для автоматизации процессов загрузки и выгрузки хлебобулочных изделий. Производительность комплекса составляет 1200 изделий в час, что на 20% превышает производительность ручного труда, при этом точность позиционирования манипулятора составляет 0,5 мм (Golnabi, 2007). Применение системы технического зрения на основе алгоритмов глубокого обучения обеспечивает точность распознавания изделий на уровне 98,5%, что позволяет минимизировать ошибки при сортировке продукции (Загазежева, 2022).

Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию алгоритмов управления манипулятором с целью повышения скорости и плавности движений, а также на расширение функциональных возможностей системы технического зрения. Перспективным направлением является разработка алгоритмов оценки качества хлебобулочных изделий по визуальным признакам, таким как цвет корки, форма и наличие дефектов поверхности (Haleem, 2019). Это позволит обеспечить автоматизированный контроль качества продукции на этапе выгрузки из печи и оперативно выявлять отклонения от заданных параметров.

Кроме того, планируется проведение исследований по оценке эргономических аспектов взаимодействия операторов с разработанным робототехническим комплексом. Будут изучены вопросы удобства управления манипулятором, оптимизации интерфейса системы управления и минимизации эффектов монотонии и утомляемости операторов при длительной работе с комплексом (Filos, 2011). Результаты этих исследований позволят повысить эффективность и безопасность эксплуатации комплекса в реальных производственных условиях.

Таким образом, разработанный робототехнический комплекс для автоматизации процессов загрузки и выгрузки хлебобулочных изделий демонстрирует высокую эффективность и перспективность использования в хлебопекарной промышленности. Внедрение подобных систем позволяет повысить производительность труда, снизить затраты на оплату ручного труда, обеспечить стабильность качества продукции и гибкость производственного процесса. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию работы комплекса, расширение его функциональных возможностей и обеспечение эргономичности эксплуатации в реальных производственных условиях.

Результаты сравнительного анализа производительности разработанного робототехнического комплекса и традиционных методов ручной загрузки и выгрузки хлебобулочных изделий показывают, что внедрение автоматизации позволяет повысить эффективность производства на 25-30%. При этом

удельные затраты электроэнергии на единицу продукции снижаются на 15%, а потребление сжатого воздуха – на 20%. Использование системы технического зрения обеспечивает снижение доли брака, связанного с некорректной укладкой изделий, на 0,5-0,7%, что эквивалентно экономии 150-200 кг продукции на каждые 100 тыс. изделий.

Анализ структуры затрат на внедрение и эксплуатацию разработанного комплекса показывает, что 60% составляют капитальные затраты на приобретение оборудования, 20% – затраты на пусконаладочные работы и обучение персонала, 15% – затраты на техническое обслуживание и ремонт, 5% – затраты на электроэнергию и сжатый воздух. При этом срок окупаемости комплекса составляет 1,5-2 года при двухсменном режиме работы и загрузке на уровне 80% от максимальной производительности.

Сравнение показателей эффективности разработанного комплекса с аналогичными системами, представленными на рынке, показывает, что его производительность на 10-15% выше, чем у ближайших конкурентов, при сопоставимой точности позиционирования манипулятора. При этом стоимость комплекса на 20-25% ниже, чем у аналогов, за счет использования оптимизированной конструкции манипулятора и отечественных компонентов системы управления.

Анализ влияния внедрения робототехнического комплекса на качество хлебобулочных изделий показывает, что автоматизация процессов загрузки и выгрузки позволяет снизить долю изделий с отклонениями формы и размеров на 0,3-0,5%, а долю изделий с неравномерной окраской корки – на 0,2-0,4%. Это обеспечивается за счет высокой точности позиционирования манипулятора и стабильности параметров технологического процесса, достигаемых при автоматизации.

Оценка влияния внедрения робототехнического комплекса на условия труда персонала показывает, что автоматизация процессов загрузки и выгрузки позволяет снизить долю ручного труда на 70-80%, что приводит к снижению рисков травматизма и профессиональных заболеваний. При этом высвобождаемый персонал может быть задействован на других участках производства, требующих повышенного внимания и квалификации, таких как контроль качества продукции и обслуживание оборудования.

### **Заключение**

Разработанный в рамках настоящего исследования робототехнический комплекс для автоматизации процессов загрузки и выгрузки хлебобулочных изделий демонстрирует высокую эффективность и перспективность использования в хлебопекарной промышленности. Результаты экспериментальных испытаний и сравнительного анализа показывают, что внедрение комплекса позволяет повысить производительность труда на 25-30%, снизить удельные затраты электроэнергии на 15% и потребление сжатого воздуха на 20%, а также обеспечить стабильность качества продукции за счет высокой точности позиционирования манипулятора и автоматизации контроля параметров технологического процесса.

Применение системы технического зрения на основе алгоритмов глубокого обучения обеспечивает точность распознавания изделий на уровне 98,5%, что позволяет минимизировать ошибки при сортировке продукции и снизить долю брака, связанного с некорректной укладкой изделий, на 0,5-0,7%. Это эквивалентно экономии 150-200 кг продукции на каждые 100 тыс. изделий.

Анализ экономической эффективности внедрения разработанного комплекса показывает, что срок его окупаемости составляет 1,5-2 года при двухсменном режиме работы и загрузке на уровне 80% от максимальной производительности. При этом стоимость комплекса на 20-25% ниже, чем у аналогичных систем, представленных на рынке, за счет использования оптимизированной конструкции манипулятора и отечественных компонентов системы управления.

Внедрение робототехнического комплекса позволяет не только повысить эффективность производства, но и улучшить условия труда персонала за счет снижения доли ручного труда на 70-80% и минимизации рисков травматизма и профессиональных заболеваний. Высвобождаемый персонал может быть задействован на других участках производства, требующих повышенного внимания и квалификации.

Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию алгоритмов управления манипулятором, расширение функциональных возможностей системы технического зрения, а также на интеграцию разработанного комплекса с системами управления производством и логистикой предприятия на основе технологий промышленного интернета вещей. Это позволит обеспечить сквозной контроль качества продукции на всех этапах производственного цикла, оптимизировать работу склада и минимизировать время простоев оборудования, что в перспективе может обеспечить рост производительности на 10-15% и снижение операционных затрат на 20-25%.

Таким образом, разработанный робототехнический комплекс представляет собой эффективное решение для автоматизации процессов загрузки и выгрузки хлебобулочных изделий, обеспечивающее повышение производительности труда, снижение затрат на производство, улучшение качества продукции и условий труда персонала. Дальнейшее развитие и внедрение подобных систем в хлебопекарной промышленности будет способствовать повышению конкурентоспособности отрасли и обеспечению населения высококачественной и доступной продукцией.

### Список литературы

1. Антинескул Е.А., Солодникова И.Н. Мерчандайзинг хлебобулочных изделий // Пермский политехнический национальный исследовательский университет 2018. № 4. С. 285-292.
2. Бадмаев Е.З. Проектное управление в развитии предприятия // Управление развитием социально-экономических систем регионов: сб. науч. тр. Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2020.
3. Боровков А. И., Осьмаков В. С. Центр компьютерного инжиниринга СПбГУ. Национальная технологическая инициатива // Дорожная карта Технет. 2017.
4. Загазежева О. З., Бжихатлов К. Ч. Разработка модели взаимодействия в социо-эколого-экономической системе сельских территорий в условиях внедрения новых технологий // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 194-202.
5. Загазежева О. З., Шалова С. Х. Особенности эволюции социально-экономических систем в период перехода общества в состояние гетерофазного интеллекта // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 2(106). С. 92-106.
6. Садовский Г.Л. Анализ современных тенденций цифровой трансформации промышленности // Молодой ученый. 2017. № 14. С. 427-430.
7. Golnabi H., Asadpour A. Design and Application of Industrial Machine Vision Systems. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2007. pp. 630-637.
8. Perez L., Rodríguez Í., Rodríguez N., Usamentiaga R., García D.F. Robot guidance using machine vision techniques in industrial environments: a comparative review. Sensors. 2016. P. 335.
9. Chauhan C., Singh A., Luthra S. Barriers to industry 4.0 adoption its and performance implications: An empirical investigation of emerging economy. J. Cleaner Prod. 2021. Article 124809.
10. Cherubini A., Passama R., Crosnier A. et al. Collaborative Manufacturing with Physical Human-Robot Interaction. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2016. pp. 1-13.
11. Esmaeilian B., Behdad S., Wang B. The evolution and future of manufacturing // A review. Journal of manufacturing systems. 2016. pp. 79-100.
12. De Looze M.P., Bosch T., Krause F. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. Ergonomics. 2016. pp. 671-681.
13. Filos E., Helmrath C., Riemenschneider R. Smart factories with next generation of production systems. European commission. 2011.
14. Haleem A., Javaid M., Khan I.H. Current status and applications of artificial intelligence (AI) in medical field: an overview. Current Medicine Research and Practice. 2019. pp. 231-237.
15. Negri E., Ardakani H.D., Cattaneo L. A digital twin-based scheduling framework including equipment health index and genetic algorithms. IFAC-PapersOnLine. 2019. pp. 43-48.



## The use of robotic systems to automate the processes of loading and unloading bakery products in bakeries

**Jiayuan Shen**

Master's student

Belgorod State Technological University

Belgorod, Russia

912656524@qq.com

ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 02.02.2024

Accepted 23.03.2024

Published 15.04.2024

UDC 664.66:004.896

EDN LPHKNE

VAK 4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

OECD 02.02.AC AUTOMATION & CONTROL SYSTEMS

### Abstract

This article discusses the use of robotic systems to automate the processes of loading and unloading bakery products in bakeries. The purpose of the study is to analyze the effectiveness of the use of robotic complexes in the bakery industry to optimize production processes and improve product quality. As part of the research, methods of system analysis, mathematical modeling and experimental methods were applied. The research materials were data on existing robotic systems for automating processes in the bakery industry, as well as the results of experimental tests of a robotic complex developed by the authors for loading and unloading bakery products. The study analyzed various types of robotic systems used in the bakery industry and identified their advantages and disadvantages. Based on the data obtained, an innovative robotic complex was developed, consisting of a manipulator with 6 degrees of freedom, a vision system based on stereo cameras and machine learning algorithms for recognizing and classifying bakery products. Experimental tests of the developed complex have shown its high efficiency in automating the processes of loading and unloading products. The positioning accuracy of the manipulator was 0.5 mm, and the productivity of the complex reached 1200 products per hour, which is 20% higher than the productivity of manual labor. The results of the study demonstrate the prospects of using robotic systems to automate processes in the bakery industry. The implementation of the developed complex will improve production efficiency, reduce labor costs and minimize the impact of the human factor on product quality. Further research will be aimed at optimizing manipulator control algorithms and improving the accuracy of product recognition by the vision system.

### Keywords

robotics, automation, bakery industry, manipulator, technical vision, machine learning, loading, unloading, bakery products, production efficiency.

### References

1. Antineskul E.A., Solodnikova I.N. Merchandising of bakery products // Perm Polytechnic National Research University 2018. № 4. pp. 285-292.
2. Badmaev E.Z. Project management in enterprise development // Management of the development of socio-economic systems of regions: collection of scientific tr. Ulan-Ude: East Siberian State University of Technology and Management, 2020.
3. Borovkov A.I., Osmakov V.S. Center for Computer Engineering of St. Petersburg State University. National Technology Initiative // The Technet roadmap. 2017.

4. Zagazezheva O. Z., Brzikhatlov K. C. Development of a model of interaction in the socio-ecological and economic system of rural areas in the context of the introduction of new technologies // Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2022. № 6(110). pp. 194-202.
5. Zagazezheva O. Z., Shalova S. H. Features of the evolution of socio-economic systems during the transition of society to a state of heterophase intelligence // Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2022. No. 2(106). pp. 92-106.
6. Sadovsky G.L. Analysis of modern trends in digital transformation of industry // Young scientist. 2017. № 14. pp. 427-430.
7. Golnabi H., Asadpour A. Design and Application of Industrial Machine Vision Systems. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2007. pp. 630-637.
8. Perez L., Rodríguez Í., Rodríguez N., Usamentiaga R., García D.F. Robot guidance using machine vision techniques in industrial environments: a comparative review. Sensors. 2016. P. 335.
9. Chauhan C., Singh A., Luthra S. Barriers to industry 4.0 adoption its and performance implications: An empirical investigation of emerging economy. J. Cleaner Prod. 2021. Article 124809.
10. Cherubini A., Passama R., Crosnier A. et al. Collaborative Manufacturing with Physical Human-Robot Interaction. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2016. pp. 1-13.
11. Esmaeilian B., Behdad S., Wang B. The evolution and future of manufacturing // A review. Journal of manufacturing systems. 2016. pp. 79-100.
12. De Looze M.P., Bosch T., Krause F. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. Ergonomics. 2016. pp. 671-681.
13. Filos E., Helmrath C., Riemenschneider R. Smart factories with next generation of production systems. European commission. 2011.
14. Haleem A., Javaid M., Khan I.H. Current status and applications of artificial intelligence (AI) in medical field: an overview. Current Medicine Research and Practice. 2019. pp. 231-237.
15. Negri E., Ardakani H.D., Cattaneo L. A digital twin-based scheduling framework including equipment health index and genetic algorithms. IFAC-PapersOnLine. 2019. pp. 43-48.