

- nauchnoj konferencii*. Hanty-Mansijsk, 2019. pp. 137–142. (In Russ.)
27. Abbasi M.M., Beltiukov A.P. Summarizing emotions from text using Plutchik wheel of emotion. *Proceedings of the 7th All Russian Conference on Information Technology for Intelligent Decision Making Support (ITIDS)*. Ufa, 2019, vol 166, pp. 291–294.
28. Nisioi S., Bucur A., Liviu P. Lexical analysis and content extraction from customer-agent interactions. *Proceedings of the 2018 EMNLP Workshop WNUT: the 4th Workshop on Noisy User-Generated Text*, 2018, pp. 132–136.
29. Aljuaid H. et al. Important citation identification using sentiment analysis of intent citations. *Telematics and Informatics*, 2021, vol. 56, pp.1–16.
30. Surana S. et al. Text extraction and detection from images using machine learning techniques: A research review. *2022 International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS)*. India, Tuticorin, 2022, pp. 1201–1207. DOI: 10.1109/ICEARS53579.2022.9752274
31. Ihsan I. et al. Improving intent citation reason extraction and classification using supervised machine learning techniques. *Computer Speech & Language*, 2023, vol. 82, no. 9, pp. 101526.

Received 25.03.2024

УДК 658.5.012.14

## КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯЦИОННЫМИ РОБОТАМИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Борисов В.В., Сивков В.С.*

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ  
E-mail: vitaliy.borisov.2000@inbox.ru, sivkov-vs@psuti.ru*

Статья посвящена изучению алгоритмов управления манипуляционными роботами для выполнения сложных технологических операций на предприятии с целью оптимизации продолжительности рабочего процесса. В современной бизнес-среде для достижения максимальной эффективности управления производством в условиях жесткой конкуренции предприятиям необходимо постоянно совершенствовать способы автоматизации рабочих процессов с помощью роботов и искусственного интеллекта. Авторы статьи подробно рассматривают реальные проблемы, с которыми сталкиваются манипуляционные роботы при выполнении сложных операций в промышленной среде. В статье рассматриваются различные подходы к управлению манипуляционными роботами. К таким подходам относятся метод адаптивного управления, метод программного управления, метод сенсорного управления, метод коллаборативного управления. Применение искусственного интеллекта в управлении манипуляционными роботами позволяет принимать решения на основе анализа большого объема данных, обучаться на полученном опыте и адаптироваться к условиям окружающей среды.

**Ключевые слова:** алгоритмы управления, манипуляционные роботы, метод программного управления, метод адаптивного управления, метод сенсорного управления, метод коллаборативного управления, программные модули

### Введение

Современная промышленность вступила в эру цифровой трансформации, где автоматизация играет ключевую роль в повышении эффективности и конкурентоспособности производства. Использование манипуляционных роботов, оснащенных передовыми алгоритмами управления, становится неотъемлемой частью производственных процессов. Концепция применения алгоритмов управления манипуляционными роботами для выполнения сложных технологических операций является актуальным исследовательским направлением, нацеленным на разработку и оптимизацию методов

и алгоритмов контроля и координации движений роботов в промышленной среде.

В данной статье рассматриваются как классические методы управления, так и инновационные подходы, включая точные алгоритмы, основанные на применении современных программных комплексов. К классическим методам управления относятся: метод адаптивного управления, метод программного управления, метод сенсорного управления, метод коллаборативного управления. Применение адаптивных алгоритмов управления роботами на производстве дает значительные преимущества, такие как повышение точности и ско-

рости выполнения операций, снижение затрат на обслуживание и настройку систем, а также возможность интеграции роботов в гибкие и адаптивные производственные системы.

Оптимизация технологических процессов на предприятии является ключевой задачей для успешного функционирования и развития бизнеса. Концепция бережливого производства предполагает оптимальное использование всех ресурсов, максимизацию производительности, минимизацию затрат и достижение наилучших результатов в рамках поставленных целей. Основная цель бережливого производства заключается в устранении потерь и увеличении эффективности производства за счет сокращения запасов, уменьшения времени производственного цикла и повышения качества продукции. Использование концепции бережливого производства на предприятии способствует сокращению периодов простоя оборудования и расширению производственных мощностей.

Внедрение новых технологий и методов управления манипуляционными роботами на производстве дает возможность наиболее грамотно распределять ресурсы и рабочее время персонала.

### Анализ методик управления

**1. Метод адаптивного управления.** Метод адаптивного управления манипуляционными роботами – это стратегия управления, которая позволяет роботам адаптироваться к изменяющимся условиям и требованиям в процессе выполнения производственных задач. Данный метод подразумевает использование различных алгоритмов и техник, которые позволяют роботам обучаться на основе полученной информации и корректировать свое поведение в соответствии с текущей ситуацией.

Например, есть промышленный завод по производству видеокарт. В процессе производства возникает проблема точечной сборки изделий, состоящих из мелких деталей. Предположим, на заводе есть несколько станций по сборке видеокарт, и каждая станция оснащена манипуляционным роботом. Эти роботы могут выполнять различные операции, такие как установка микросхем, пайка, установка охлаждающих систем и тестирование готовой продукции.

Использование метода адаптивного управления для решения данной задачи включает нескольких этапов.

**Этап 1.** Сбор аналитических данных. На этом этапе собираются данные о процессах производства видеокарт и используемых ресурсах для их производства: технические параметры видеокарты, детали для производства видеокарты, данные о со-

стоянии оборудования и системы автоматизации.

**Этап 2.** Анализ данных и разработка стратегии адаптивного управления. Полученные данные анализируются с целью выявления узких мест, неэффективных процессов или возможных улучшений. На данном этапе происходит выявление паттернов в работе роботов, идентификация ошибок и несоответствий в производственных процессах. На основе анализа данных разрабатываются стратегии адаптивного управления. Это могут быть алгоритмы оптимизации работы роботов, автоматическая коррекция параметров работы или динамическое перераспределение ресурсов в зависимости от текущих условий производства.

**Этап 3.** Внедрение алгоритмов и систем управления. Разработанные стратегии адаптивного управления реализуются на практике. Обычно на этом этапе происходит внедрение специального программного обеспечения, а также обновление аппаратного обеспечения манипуляционных роботов.

Результаты использования метода адаптивного управления включают в себя:

- повышение точности сборки продукции;
- экономия производственных ресурсов и времени;
- гибкое и адаптивное управление производственными процессами;
- сокращение времени простоя оборудования;
- минимизация трудозатрат.

**2. Метод программного управления.** Программное управление манипуляционным роботом осуществляется с использованием заранее разработанных управляющих программ, аналогично тому, как это происходит в случае станков с числовым программным управлением (ЧПУ).

Реализация метода программного управления: в первую очередь проводится анализ предполагаемой задачи и сбор первичных данных. На этом этапе определяются требования к задаче и ее цели. Определяется тип робота, набор необходимых функций, параметры окружающей среды. Далее определяются оптимальные алгоритмы взаимодействия со специализированными программными системами для координации действий манипуляционных роботов с целью выполнения конкретной производственной задачи. Перечень алгоритмов управления роботами на производстве может включать в себя:

- алгоритм планирования движений: генерация оптимальных траекторий движений робота с учетом ряда факторов, таких как кинематика робота и ограничение рабочей области;
- алгоритм оптимального управления: поиск оптимальных управляющих сигналов с учетом

критериев оптимальности, таких как минимизация времени производства, энергопотребления, а также износа составных деталей;

– алгоритм координации действий множества манипуляционных роботов: распределение задач между несколькими роботами для достижения максимальной эффективности и синхронности.

Пример применения: рассмотрим производственную линию для сборки сложных электронных устройств, например, современных смартфонов. В первую очередь, производится программирование роботов для выполнения задач по сборке устройств, состоящих из мелких деталей. Для этого инженерами создается специализированное программное обеспечение, с помощью которого определяются точки подачи каждого компонента на конвейере. Затем разработанное программное обеспечение дополняется модулями, позволяющими генерировать оптимальные траектории для перемещения деталей от точки к точке, минимизируя при этом энергозатраты и время сборки одного устройства. После прохождения вышеописанных этапов выполняется интеграция с производственной линией. Программное обеспечение интегрируется с системой управления производственными процессами (MES) с целью синхронизации действий робота с другими производственными операциями. После этого манипуляционный робот может запускаться и останавливаться в соответствии с требованиями производственной линии. Заключительным этапом является внедрение системы мониторинга и оптимизации, корректирующей планы движения при необходимости, например, если робот сталкивается с препятствием.

**3. Метод сенсорного управления.** Сенсорное управление манипуляционными роботами на производстве основывается на внедрении и использовании различных типов сенсоров для четкого восприятия окружающей среды, а также для получения обратной связи о выполнении поставленных задач. Суть данного метода заключается в том, чтобы позволить роботам адаптироваться к изменяющимся условиям на производстве в режиме реального времени. Метод сенсорного управления включает в себя следующие аспекты:

– применение датчиков и сенсоров для восприятия роботами окружающей среды в режиме реального времени: ИК-датчики, лидары, ультразвуковые датчики, датчики силы;

– обработка сенсорной информации: данные, полученные от сенсоров обрабатываются с помощью специализированных алгоритмов обработки сигналов и компьютерного (машинного) зрения;

– использование адаптивного управления: сенсорное управление позволяет роботам адапти-

роваться к изменениям окружающей среды в условиях выполняемой задачи в режиме реального времени, например, если положение объекта изменяется, или появляются новые препятствия, робот может повторно просчитать свои действия и продолжить выполнение поставленной задачи.

Пример применения: рассмотрим производственную линию по сборке автомобильных кузовов. Для сборки отдельных компонентов крупной кузовной детали необходимо использовать манипуляционного робота. Робот оснащен камерой с компьютерным зрением и сенсорными датчиками, используемыми для обнаружения и распознавания кузовных панелей, которые поступают на производственную линию. Прежде всего, происходит обработка изображений с камеры для определения положения и ориентации кузовных панелей на конвейере. Далее, на основе данных, полученных с камеры и датчиков, робот может выбрать алгоритм их обработки и скорректировать свое положение и ориентацию в пространстве таким образом, чтобы правильно захватить кузовную панель. Если кузовная панель расположена на конвейере не так, как ожидалось, можно использовать информацию о новом положении детали в режиме реального времени.

**4. Метод коллаборативного управления.** Суть метода коллаборативного управления заключается в обеспечении взаимодействия между манипуляционными роботами и человеком в процессе выполнения различных технологических задач на предприятии. Данный метод позволяет решать следующие производственные задачи:

– обеспечение взаимодействия между различными роботами для выполнения сложных технологических задач;

– обеспечение взаимодействия между роботами и человеком: совместная работа с операторами или другим персоналом производственных предприятий позволяет наиболее эффективно решать поставленные задачи;

– возможность решать нетривиальные производственные задачи, обмениваясь информацией и синхронизируя действия робота и человека в режиме реального времени;

– адаптация к изменениям на производстве: данный метод позволяет роботам адаптироваться к изменяющимся условиям производства и требованиям в зависимости от текущей ситуации;

– возможность использовать вышеописанные методы для достижения наилучших результатов;

– использование современных систем безопасности: коллаборативное управление включает в себя системы безопасности, которые обеспечивают безопасное взаимодействие между роботами и

персоналом предприятия, например, роботы могут быть оснащены датчиками безопасности, которые обнаруживают присутствие людей в определенной зоне и автоматически останавливают свои действия для предотвращения аварийных ситуаций и несчастных случаев на производстве.

### Концепция создания каркаса (framework) методик управления

Исходя из результатов, приведенных выше, авторы предлагают концепцию создания так называемого каркаса (англ. термин framework) методик управления для формирования наиболее эффективного подхода в области управления роботами, используя рассмотренные выше методики в качестве базовых.

Архитектура такого каркаса представлена на рисунке 1.

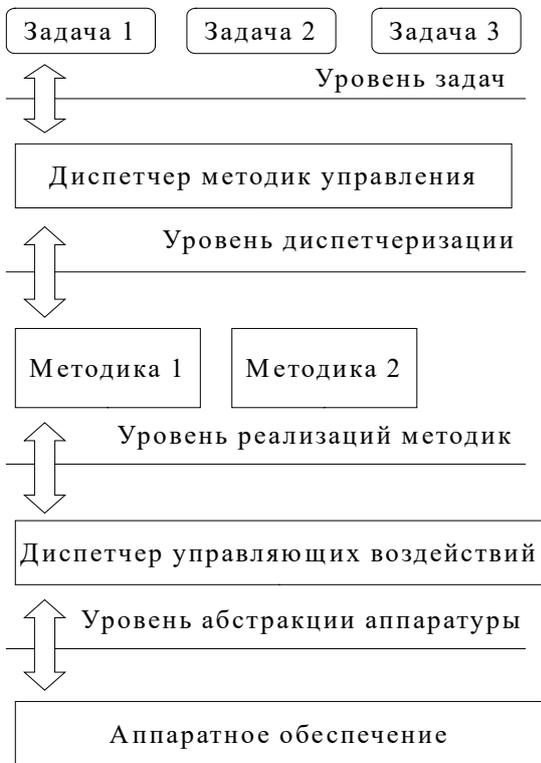


Рисунок 1. Архитектура каркаса методик управления

Структура каркаса многослойная, что позволяет достаточно просто решать задачи по масштабированию систем управления на основе такой архитектуры.

Первый уровень архитектуры – список задач, которые формируются пользователями системы. Задачи поступают на вход диспетчера методик управления, который занимается подбором наиболее эффективной методики под данную задачу.

Диспетчер методик управления работает с сервисами методик управления. Каждый сервис методики управления представляет собой модель обработ-

ки данных, поступающих от задач, и от аппаратного обеспечения (датчиков, актуаторов и т.д.).

Сформированные команды управления поступают на диспетчер управляющих воздействий, который выполняет роль уровня абстракции от аппаратного обеспечения. Такая конструкция позволяет с одной стороны использовать единый универсальный формат взаимодействия с аппаратурой, со стороны сервисов методик. С другой стороны, такой подход упрощает добавление новых типов аппаратного обеспечения (новых типов датчиков, актуаторов и т.д.).

Реализация данного каркаса для системы управления роботами-манипуляторами может быть выполнена на базе кластера из вычислительных устройств, причем важную роль в организации такого кластера будут играть правильно подобранные компоненты в виде операционных систем и средств взаимодействия внутри кластера. На рисунке 2 представлен возможный вариант распределения уровней архитектуры каркаса методик управления.

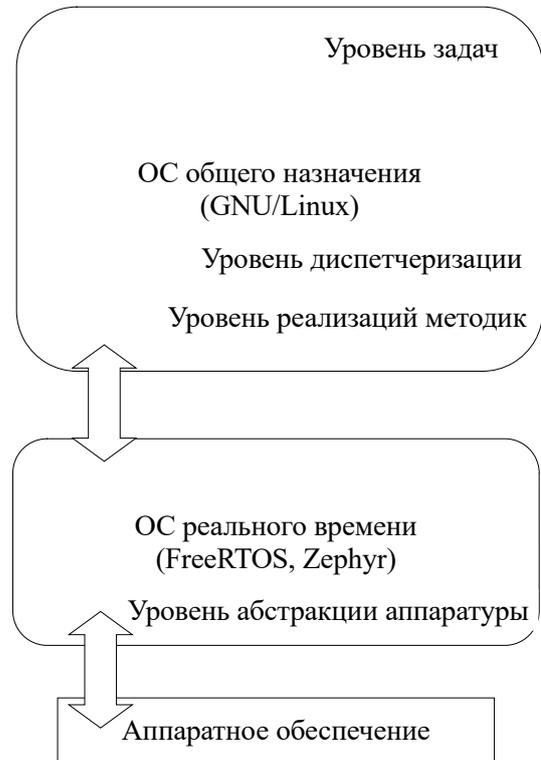


Рисунок 2. Распределение уровней архитектуры каркаса

На рисунке видно, что задачи непосредственно управления роботами, а также сбор информации с датчиков может быть выполнен на базе специализированных систем реального времени. Тогда как цели диспетчеризации задач и реализации методик управления могут быть достигнуты с использованием операционных систем общего назначения. Однако такое распределение не является обязательным условием реализации каркаса — сама архитек-

Таблица 1. Преимущества методов управления манипуляционными роботами на производстве

Метод	Преимущества применения
Метод адаптивного управления	1. Применение адаптивных алгоритмов для управления производственными мощностями. 2. Оптимальное распределение энергоресурсов и времени производства. 3. Высокая точность сборки и низкие трудозатраты персонала. 4. Наиболее эффективное использование оборудования на конвейере.
Метод программного управления	1. Адаптивность и гибкость: применение алгоритмов планирования для генерации оптимальных траекторий движения робота с учетом факторов окружающей среды. 2. Оптимальное управление и прогнозирование: поиск оптимальных управляющих сигналов и возможность прогнозирования движений в изменяющихся условиях производства. 3. Координация движений и распределение производственных задач между несколькими роботами.
Метод сенсорного управления	1. Использование ИК-датчиков, сенсоров и компьютерного зрения для точного определения параметров окружающей среды с целью повышения эффективности работы роботов в режиме реального времени. 2. Сокращение времени сборки высокотехнологичных устройств за счет использования метода адаптивного управления. 3. Улучшенная безопасность: возможность быстро реагировать на опасные изменения окружающей среды.
Метод коллаборативного управления	1. Возможность решать нетривиальные производственные задачи, обмениваясь информацией и синхронизируя действия манипуляционных роботов и человека в режиме реального времени. 2. Применение нескольких методов управления роботами для достижения более высокой точности сборки и повышения производительности оборудования.

тура предполагает гибкое маневрирование в плане распределения уровней архитектуры по конкретным вычислительным устройствам.

### Заключение

Применение описанных выше методов на предприятиях по производству высокотехнологичных технических систем с ориентацией на широкий рынок сбыта, представляется обоснованным. Концепция использования так называемого каркаса методик по оценочным прогнозам позволит сократить временные затраты на промышленных предприятиях по сборке сложных высокотехнологичных устройств в среднем на 20%. Затраты по части ресурсов производства на данных предприятиях сокращаются в среднем на 15%. Кроме того, такой подход к управлению манипуляционными роботами позволяет снизить затраты на установку новых роботизированных комплексов, и проектирование на них программ управления. Результатом применения этих методов является повышение общей эффективности производственных процессов, улучшение качества сборки продукции, а также повышение конкурентоспособности предприятия в отдельных отраслях производства.

### Литература

1. Архипов М.В., Головин В.Ф., Вжеснев-

ский В.А. Человеко-машинный интерфейс манипуляционного робота // Экстремальная робототехника. 2017. Т. 1, № 1. С. 110–119.

2. Белянин П.Н. Состояние и развитие техники роботов // Проблемы машиностроения и надежность машин. 2000. № 2. С. 85–96.
3. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов: учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1986. 264 с.
4. Волошко А.Г., Ивутин А.Н., Крюков О.С. Методы моделирования и анализа производственных процессов для разработки стратегии модернизации предприятия // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 12. С. 36–44.
5. Горностаев И.В. Разработка методов синтеза систем высокоскоростного управления манипуляционными роботами с учетом особенностей их конструкций: дис. ... канд. техн. наук. Владивосток, 2023. 145 с.
6. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами: учеб. пособие для вузов. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 478 с.
7. Капустян С.Г. Методы и алгоритмы коллек-

- тивного управления роботами при их групповом применении: дис. ... д-ра техн. наук. Таганрог, 2008. 376 с.
8. Колпашиков Е.В., Перепелкин Е.А. Программное обеспечение для разработки адаптивных систем управления промышленными роботами // Программно-техническое обеспечение автоматизированных систем. 2019. Т. 3, № 5. С. 82–84.
  9. Колтыгин Д.С., Седельников И.А., Ульянов А.Д. Разработка методики моделирования рабочих зон манипуляционных роботов // Автоматизация в промышленности. 2022. № 4. С. 25–29.
  10. Наумова Т.М., Шлычков Д.С. Контроллинг в производственных процессах организации // Балканское научное обозрение. 2020. Т. 4, № 4 (10). С. 62–65.
  11. Огородников И.И., Зейн М. Техническое зрение для детектирования спелых плодов роботизированной системой // Автоматизация в промышленности. 2022. № 10. С. 40–43.
  12. Смородов А.В. Анализ и синтез манипуляционных роботов с механизмами параллельной структуры: дис. ... канд. техн. наук. СПб, 2004. 139 с.
  13. Токарев Д.Г., Францева Ю.А. Аппаратно-программное обеспечение модернизированной системы управления роботом // Символ науки: международный научный журнал. 2017. Т. 2, № 4. С. 102–105.
  14. Адаптивные захватные устройства в технологическом производстве упаковки / П.Н. Харитонов [и др.] // Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности. 2019. № 4. С. 164–170.
  15. Швандт А., Ющенко А.С. Программирование коллаборативных манипуляционных роботов с использованием интерфейса дополненной реальности // Робототехника и техническая кибернетика. 2020. Т. 8, № 2. С. 139–149.
  16. Шестаков Е.И., Жданов А.А. Управление модульным манипуляционным роботом на основе метода автономного адаптивного управления // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2022. Т. 24, № 6. С. 38–45.

*Получено 06.05. 2024*

**Борисов Виталий Валериевич**, магистрант кафедры управления в технических системах (УТС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 927 339-11-00. E-mail: vitaliy.borisov.2000@inbox.ru

**Сивков Вадим Сергеевич**, к.т.н., доцент кафедры УТС ПГУТИ. 443090, Российская Федерация, г. Самара, Московское шоссе, 77. Тел. +7 927 339-11-00. E-mail: sivkov-vs@psuti.ru

## CONCEPT OF APPLICATION OF CONTROL ALGORITHMS FOR MANIPULATION ROBOTS TO PERFORM COMPLEX TECHNOLOGICAL OPERATIONS IN INDUSTRY

*Borisov V.V., Sivkov V.S.*

*Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation*

*E-mail: vitaliy.borisov.2000@inbox.ru, sivkov-vs@psuti.ru*

The article is devoted to the study of control algorithms for manipulation robots to perform complex technological operations at enterprises in order to optimize working process time. In today's business environment, in order to maximize efficiency of production management in highly competitive environment, enterprises need to constantly improve work process automating methods using robots and artificial intelligence. Authors of this article take an in-depth look at the real-world challenges that manipulation robots face in performing complex operations in industrial environment. The work discusses various approaches to control manipulation robots. These approaches include adaptive control method, program control method, sensor control method and collaborative control method. Application of artificial intelligence in the control of manipulation robots allows making decisions based on analyzing of large data amounts, learning from experience and adapting to the environment.

**Keywords:** *control algorithms, manipulation robots, program control method, adaptive control method, sensor control method, collaborative control method, software modules*

**DOI:** 10.18469/ikt.2023.21.4.12

**Borisov Vitaliy Valerievich**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Master's Student of Management in Technical Department. Tel. +7 927 339-11-00. E-mail: vitaliy.borisov.2000@inbox.ru

**Sivkov Vadim Sergeevich**, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 77, Moskovskoe shosse, Samara, 443090, Russian Federation; Associated Professor of Management in Technical Department, PhD in Technical Science. Tel. +7 927 339-11-00. E-mail: sivkov-vs@psuti.ru

### References

1. Arkhipov M.V., Golovin V.F., Vzhesnevskiy V.A. Human-machine interface of the manipulation robot. *Extreme Robotics*, 2017, vol. 1, no. 1, pp. 110–119. (In Russ.)
2. Belyanin P.N. State and development of robot technology. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnost' mashin*, 2000, no. 2, pp. 85–96. (In Russ.)
3. Burdakov S.F., Dyachenko V.A., Timofeev A.N. *Design of manipulators of industrial robots and robotised complexes: Textbook for Universities*. Moscow: Vysshaya shkola, 1986, 264 p. (In Russ.)
4. Voloshko A.G., Ivutin A.N., Kryukov O.S. Methods for modeling and analysis of production processes for developing an enterprise modernization strategy. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2020, no. 12, pp. 36–44. (In Russ.)
5. Gornostaev I.V. Development of synthesis methods of the high-speed control systems for manipulation robots taking into account the peculiarities of their constructions: diss. ... cand. tech. sciences. Vladivostok, 2023, 145 p. (In Russ.)
6. Zenkevich S.L., Yushchenko A.S. *Robot Control. Fundamentals of manipulation robots control: Textbook for Universities*. Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Baumana, 2000, 478 p. (In Russ.)
7. Kapustyan S.G. Methods and algorithms of collective control of robots at their group application: diss. ... doct. tech. sciences. Taganrog, 2008, 376 p. (In Russ.)
8. Kolpashchikov E.V., Perepolkin E.A. Software for the development of adaptive control systems for industrial robots. *Programmno-tekhnikeskoe obespechenie avtomatizirovannyh system*, 2019, vol. 3, no. 5, pp. 82–84. (In Russ.)
9. Koltygin D.S., Sedelnikov I.A., Ulyanov A.D. Development of the methodology for modelling the working zones of the manipulation robots. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 2022, no. 4, pp. 25–29. (In Russ.)
10. Naumova T.M., Shlychkov D.S. Controlling in the production processes of the organization. *Balkanskoe nauchnoe obozrenie*, 2020, vol. 4, no. 4 (10), pp. 62–65. (In Russ.)
11. Ogorodnikov I.I., Zain M. Technical vision for ripe fruit detection by a robotic system. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 2022, no. 10, pp. 40–43. (In Russ.)
12. Smorodov A.V. Analysis and synthesis of manipulation robots with mechanisms of parallel structure: diss. ... cand. tech. sciences. Saint Petersburg, 2004, 139 p. (In Russ.)
13. Tokarev D.G., Frantseva Y.A. Hardware and software support of the modernised robot control system. *Simvol nauki: mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal*, 2017, vol. 2, no. 4, pp. 102–105. (In Russ.)
14. Kharitonova P.N. et al. Adaptive gripping devices in the technological production of packaging. *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyah pishchevoj promyshlennosti*, 2019, no. 4, pp. 164–170. (In Russ.)
15. Schwandt A., Yushchenko A.S. Collaborative manipulation robots programming with the use of augmented reality interface. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika*, 2020, vol. 8, no 2, pp. 139–149. (In Russ.)
16. Shestakov E.I., Zhdanov A.A. Control of a modular robot manipulator based on the method of autonomous adaptive control. *Neurocomputers: development, application*, 2022, vol. 24, no. 6, pp. 38–45. (In Russ.)

Received 06.05.2024