

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫБОРА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА ДЛЯ ГПС

Г. Э. ОРУДЖЕВА

**Аннотация.** Рассматривается поэтапное решение вопроса выбора и проектирования мобильного промышленного робота применительно гибкой производственной системы (ГПС). На примере гибкого автоматизированного участка ГПС для обеспечения автоматизированного накопления готовой продукции, ее транспортирования и сборки, рассматривается вопрос выбора и поэтапного проектирования мобильного промышленного робота (МПР). Проведен анализ гибких производственных систем, ее участков и используемых промышленных роботов, манипуляторов, их автоматизированных систем управления, а также существующих мобильных роботов для обеспечения накопления, транспортировки и сборки на складском помещении. Для эффективного поиска, выбора и проектирования мобильного промышленного робота предлагается логический алгоритм на основе входных условий соответствия назначению, конструкционной, технологической новизне, а также повышению уровня автоматизации данного проекта. На основе технических данных анализируемых прототипов мобильных роботов, которые хранятся в базе данных инновационных проектов МПР, делаются логические выводы для определения реальных данных и строится экспериментальная диаграмма зон оценки инновационного проекта прототипа МПР. Для точности решения задачи выбора и проектирования МПР определяются уровни соответствия параметру конструкционного, технологического изменения и повышению уровня автоматизации нового мобильного промышленного робота, обеспечивающие накопление, транспортирование и сборку готовой продукции в гибком автоматизированном участке. При определении перечисленных параметров МПР ставятся условия неопределенности, где выбор альтернативного проекта МПР реализуется по принципу максимакса, а при коэффициенте оптимальности прототипа проекта  $\alpha = 0$  осуществляется принцип максимина. Данные математического ожидания альтернативного МПР являются критерием, при котором обеспечивается выбор проекта. В соответствии с решенными вопросами технических и экономических показателей МПР ставится техническое задание для проектирования конструкторской, технологической и системы автоматизации МПР для гибкого производственного участка ГПУ, обеспечивающее автоматизацию накопления и транспортирования готовой продукции.

**Ключевые слова:** мобильный промышленный робот; гибкая производственная система; автоматизация; проектирование; техническое задание и предложение.

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных направлений развития экономики государства является формирование производственной инфраструктуры, обеспечивающей выпуск различных видов продукции, в том числе в таких важных стратегических направлениях, как электроника. Подобной технической системой является гибкая производственная система (ГПС), обеспечивающая автоматизированную переналадку системы управления, ее активных элементов, в том числе обслуживающих основное оборудование, промышленные роботы, при переходе с одного вида продукции на другой [1, 2].

В настоящее время в связи с ростом применения инновационных технологий в промышленных предприятиях возникла важность применения производственных участков, модулей ГПС с интеллектуально управляющими техническими средствами для накопления, транспортировки и сборки готовой продукции. При переходе производства на другой вид продукции требуется автоматизированная переналадка системы управления, технического контроля робототехнических комплексов, а также мобильная переналадка, технический контроль качества выпускаемой продукции на этом участке [3, 4].

На основе анализа существующих ГПС, его участков и модулей было выявлено, что наиболее уязвимым местом переналадки системы управления робототехнических комплексов и их обслуживаемого оборудования является несовершенный процесс накопления, транспортирования и сборки, а также недостаточно точный контроль со стороны оператора-инженера, функционирующий дистанционно на отдельных автоматизированных рабочих местах. В связи с этим постановка технической задачи проектирования мобильного интерактивно управляющего промышленного робота для технического контроля над всей технологической линией ГПС является актуальной научной задачей и требует нового подхода в процессе проектирования.

Цель статьи – моделирование процесса выбора и проектирования мобильного интерактивно-управляющего промышленного робота для обеспечения автоматизации накопления, транспортирования и сборки готовой продукции на гибком автоматизированном участке ГПС.

### ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫБОРА И РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Для точности контроля функционирования АСУ РТК ставится техническая задача по созданию мобильного промышленного робота (МПР), обслуживающего робототехнический комплекс ГАУ. На начальном этапе в соответствии с *техническим заданием* анализируются типы мобильных промышленных роботов, их назначение и области применения [5]. Сформированные готовые данные о существующих прототипах МПР являются основой для создания базы данных инновационных проектов (ИП) МПР, применяемых в производственных линиях. Таким образом, из готовых инновационных мобильных роботов формируется готовая база данных стандартных типов, их назначений, области применения и основных технических характеристик.

Из анализа [6, 7] видно, что мобильные роботы в основном используются для автономного перемещения по производству и складскому помещению. Они выполняют погрузочно-разгрузочные работы и транспортировку товаров. Конструкционно МПР бывают разных форм и размеров. МПР могут перемещаться по небольшим производственным линиям и узким пространствам, а также перемещать при этом тяжелые грузы внутри и вне производственного участка. Они оснащены информационно-измерительными сенсорами, системой технического зрения, ультразвуковыми датчиками, которые дают возможность беспрепятственно объезжать места и избегать столкновений. Выполняющие автоматизированные погрузочно-разгрузочные функции и транспортировку объектов МПР позволяют повысить производительность производства. Подобные роботы могут функционировать без перерывов, что обеспечивает сокращение времени выполнения заказов.

В настоящее время МПР обеспечиваются улучшенными системами навигации и распознавания объектов, которые функционируют в динамичных производственных средах, подобных складам и производственным помещениям [8]. Мобильный промышленный робот, работающий в автономном режиме, осуществляет патрулирование территории условного производственного участка (рис. 1) по технологической линии изготовления продукции, где собирает и передает видеоданные о текущем состоянии оборудования и изготовления продукции для последующего просмотра. Данный МПР работает в режиме телеуправления, где управление роботом осуществляет оператор, а видеоданные передаются оператору в режиме live-stream.

Данный прототип МПР имеет колесную платформу, двигатели постоянного тока, Arduino-совместимый микроконтроллер в составе Intel Edison, драйвер двигателей Arduino Motor Shield, датчик освещенности, подсистему видео – Intel Edison, веб-камеру с разрешением 1920×1080, FFmpeg, FFserver, веб-приложение, Flash, VLC Player, питание от аккумулятора емкостью 2700 мА·ч с напряжением питания 7.2 вольт.

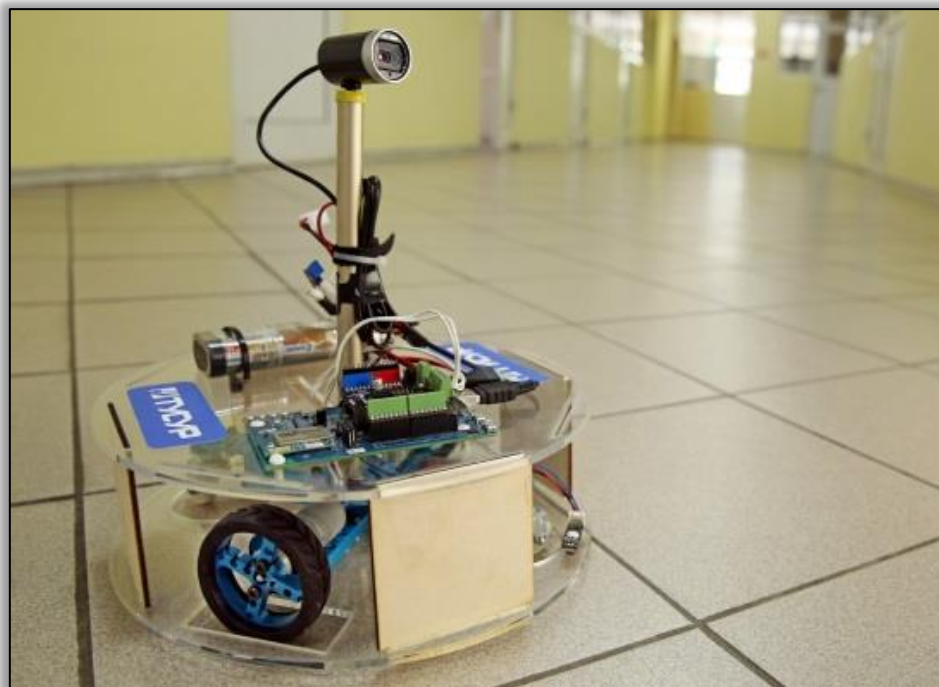


Рис. 1 Мобильный промышленный робот для патрулирования территории условного производственного участка.

На основе поиска и анализа других этого прототипа МПР, а также проектов [5–7] реализуются процедуры выбора по блок-схеме наилучшего варианта (рис. 2), обеспечивающего точность контроля состояния технологического оборудования, их операций и качество изготавливаемой продукции.

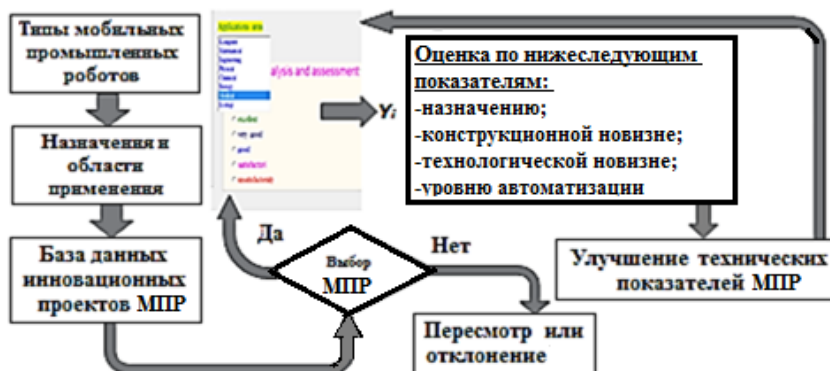


Рис. 2 Блок-схема поиска, анализа и выбора мобильного промышленного робота для ГАУ технопарка.

При этом необходимо учитывать следующие условия выбора МПР<sub>і</sub>:

$$Y_i \in \begin{cases} [0 \ 1], \text{ если соответствие назначения прототипа МПР}_i: \\ \quad \text{низкая } (\mu_{снн} = 0.3), \text{ средняя } (\mu_{снс} = 0.6) \text{ или высокая } (\mu_{снв} = 1); \\ [0 \ 1], \text{ если уровень конструкционной новизны прототипа МПР}_i: \\ \quad \text{низкая } (\mu_{уکنн} = 0.3), \text{ средняя } (\mu_{уکنс} = 0.6) \text{ или высокая } (\mu_{укнв} = 1); \\ [0 \ 1], \text{ если технологической новизны прототипа МПР}_i: \\ \quad \text{низкая } (\mu_{утнн} = 0.3), \text{ средняя } (\mu_{утнс} = 0.6) \text{ или высокая } (\mu_{утнв} = 1); \\ [0 \ 1], \text{ если степень автоматизации прототипа МПР}_i: \\ \quad \text{низкая } (\mu_{сан} = 0.3), \text{ средняя } (\mu_{сас} = 0.6) \text{ или высокая } (\mu_{сав} = 1). \end{cases} \quad (1)$$

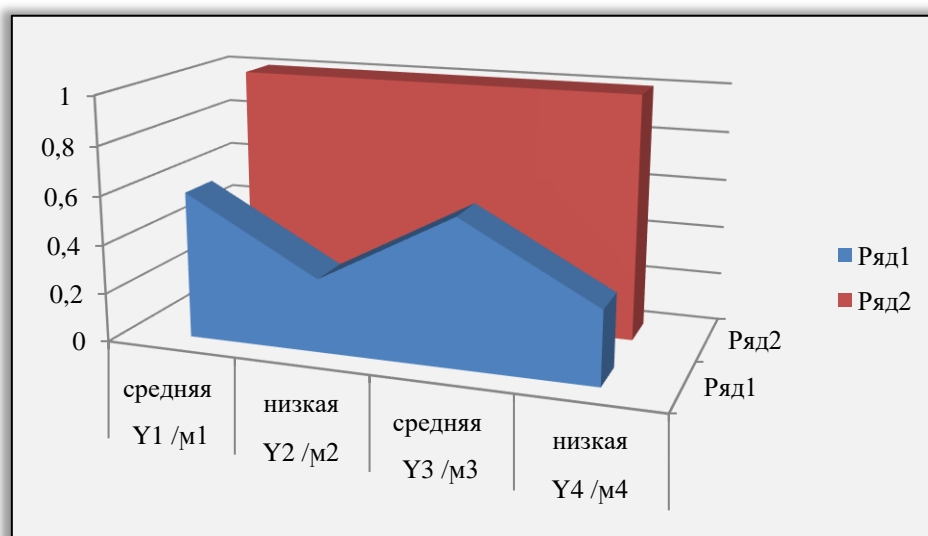
В соответствии с формулой (1), назначением, областью применения, конструкцией, технологического состояния и уровнем автоматизации прототипа [8] определим схематично ключевые зоны при оценке поиска, анализа и выбора инновационного прототипа МПР, а также реализации нового *технического предложения* при проектировании МПР, которое могло бы обеспечивать точность контроля состояния технологического оборудования, их операций над продукцией и оценивать качество изготавливаемой продукции.

Таким образом, из формулы (1) и технических данных анализируемых прототипов, а также мобильной робототехнической платформы, которые хранятся в базе данных инновационных проектов МПР (рис. 2), сделаем логические выводы для реализации:

$$\begin{aligned} \text{Если } Y_i \in [0, 1], \text{ где } Y_1 / \text{средняя } (\mu_{\text{снс}} = 0.6); \\ \text{где } Y_2 / \text{низкая } (\mu_{\text{укнн}} = 0.3); \\ \text{где } Y_3 / \text{средняя } (\mu_{\text{утнс}} = 0.6); \\ \text{где } Y_4 / \text{низкая } (\mu_{\text{сан}} = 0.3). \end{aligned} \quad (2)$$

На основе (2) строится экспериментальная диаграмма зон для оценки инновационного проекта прототипа МПР (рис. 3). Анализ данной диаграммы показывает, что в областях оценки показателей проекта МПР осуществляется по принципу ассоциативности, который позволяет предлагать и реализовывать новые проектные задачи до полного обеспечения решения  $Y_i$ .

$Y_1 / M_1$	средняя	0.6	1
$Y_2 / M_2$	низкая	0.3	1
$Y_3 / M_3$	средняя	0.6	1
$Y_4 / M_4$	низкая	0.3	1



**Рис. 3** Экспериментальная диаграмма зон для оценки инновационного проекта прототипа МПР.

Как видно из рис. 3 для полного решения задачи выбора и проектирования МПР необходимо повысить уровни соответствия каждому параметру по следующим значениям:

1. По назначению приблизительно на  $0.3 \div 0.4$ , то есть  $M_1 \rightarrow$  высокая ( $\mu_{\text{снв}} = 1$ ). При невозможности соответствия назначению, следует осуществлять поиск области, близкой по назначению и выполняющей похожие технологические операции.

2. По конструкционной новизне приблизительно на  $0.6 \div 0.7$ , то есть  $M_2 \rightarrow$  высокая ( $\mu_{\text{укнв}} = 1$ ). При наличии старой конструкции, требуется создание новой конструкции МПР с обеспечением новизны данного параметра.

3. По технологической новизне приблизительно на  $0.3 \div 0.4$ , то есть  $M_3 \rightarrow$  высокая ( $\mu_{\text{уТНВ}} = 1$ ). При наличии несовершенной технологии требуется создание проекта новой технологии МПР с обеспечением новизны данного параметра.

4. По уровню автоматизации приблизительно на  $0.6 \div 0.7$ , т. е.  $M_4 \rightarrow$  высокая ( $\mu_{\text{сав}} = 1$ ). При наличии старого уровня автоматизации проекта требуется создание новой схемы автоматизации МПР с обеспечением надежности, быстродействия и точности реализации данного параметра.

При определении вышеперечисленных параметров МПР должны выполняться условия неопределенности [9]:

$$\text{МПР}_{\text{опт\_выб}} = \{ \text{МПР}^j | \max_j [(1 - \alpha) \min_i S_{ij} + \alpha \max_i S_{ij}] \}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент оптимального прототипа МПР, имеющий значение от 0 до 1;  $S_{ij}$  – возможные конструкционные, технологические характеристики МПР, выявленные в результате поиска и выбора.

Если значение  $\alpha = 1$ , то выбор альтернативного проекта МПР реализуется по принципу максимакса, при  $\alpha = 0$  осуществляется принцип максимина. Данные математического ожидания альтернативного МПР  $j$  будут критерием, при котором обеспечивается выбор проекта МПР [10, 11]. Таким образом оптимальный вариант МПР осуществляется по нижеследующей формуле:

$$\text{МПР}_{\text{опт\_выб}} = \{ \text{МПР}^j | \max_j \sum_{i=1}^n S_{ij} P_i \} \quad (4)$$

где  $P_i$  – вероятность получения состояния  $i$ -й позиции.

Задача выбора наилучшего экономического показателя  $\Pi_{\text{мпр}_i}$  по стоимости проекта МПР с целевой функцией будет иметь следующий вид:

$$F_{\text{tr1}}(x) = \sum_{j=1}^n T_{\text{мпр}_i} x_j \rightarrow \min \quad (5)$$

при условии:

$$\sum_{j=1}^n a_{1j} x_j \geq 1, \quad i = m, \quad (6)$$

$$x \in 0,1, \quad j = n. \quad (7)$$

При этом задача структурного синтеза приводится к определению экстремального значения целевой функции.

В соответствии с решенными вопросами технических и экономических показателей МПР ставится техническое задание для проектирования конструкторской, технологической и системной автоматизации МПР [12, 13] для гибкого производственного участка ГПУ, обеспечивающей автоматизацию накопления и транспортирования готовой продукции. Структурная схема технического задания и предложения МПР для обслуживания гибкого производственного участка представлена на рис. 4.



Рис. 4 Структурная схема технического задания и предложения МПР для обслуживания гибкого производственного участка.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований и предлагаемых алгоритмов [14, 15] по поиску и выбору мобильного промышленного робота для накопления, транспортирования и доставки производственных продуктов можно сделать следующие выводы:

- на основе производственного алгоритма предложена схема выбора и проектирования мобильного промышленного робота для гибкого производственного участка, обеспечивающая автоматизацию накопления, транспортирования и доставки;
- предложен оптимальный выбор варианта мобильного промышленного робота с представлением алгоритма технического задания для дальнейшего проектирования его конструкции, технологического процесса и построения автоматизированной схемы с применением элементов искусственного интеллекта [16].

## БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает признательность научному руководителю д-ру техн. наук, профессору Мамедову Джаванширу Фирудин оглу за ценные консультации. Также следует отметить публикации в смежных областях [10–16], оказавшие определенное положительное влияние на данное исследование.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- [1] Бойков В. И., Болтунов Г. И., Мансурова О. К. Интегрированные системы проектирования и управления. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. 162 с. [[Boikov V. I., Boltunov G. I., Mansurova O. K. Integrated Systems of Design and Control. St. Petersburg, 2010. (In Russian).]]
- [2] Вороненко В. П., Соломенцев Ю. М., Схиртладзе А. Г., Пульбере А. И. Проектирование производственных систем в машиностроении: Уч. пос. Тирасполь: РИО ПГУ, 2001. 349 с. [[Voronenko V. P., Solomentsev Yu. M., Skhirtladze A. G., Pulbere A. I. Design of Production Systems in Mechanical Engineering. Tiraspol, 2001. (In Russian).]]
- [3] Еременко В. Т. Моделирование процессов информационного обмена в распределенных управляющих системах. М: Машиностроение, 2004. 224 с. [[Eremenko V. T. Modeling of Information Exchange Processes in Distributed Control Systems. Moscow: Mechanical Engineering, 2004. (In Russian).]]
- [4] Джордж Ф. Л. Искусственный интеллект, стратегии и методы решения сложных проблем. М.–СПб–К.: Вильямс, 2005. 863 с. [[George F. L. Artificial Intelligence: Strategies and Methods for Solving Complex Problems. Moscow–St. Petersburg–Kiev: Williams, 2005. (In Russian).]]
- [5] Мамедов Дж. Ф., Мурадлы З. М., Абдуллаев Г. С. Выбор аналоговых электромагнитных датчиков для автоматизации технологических процессов // Нефтегазовое дело. 2020. Т. 18. № 4. С. 134–142. EDN SWCFBI. [[Mamedov J. F., Muradly Z. M., Abdullaev G. S. "Selection of analog electromagnetic sensors for automation of technological processes" // Oil and Gas Business. 2020. Vol. 18, No. 4, pp. 134-142. EDN SWCFBI. (In Russian).]]
- [6] Мамедов Дж. Ф., Талыбов Н. Г., Абдуллаев К. С., Мурадова З. М. Разработка гибкого производственного модуля для реконструкции старой модели автомобиля на основе CAD/CAM // Автомобильная промышленность. 2020. № 4. С. 23–30. EDN JNWCQL. [[Mamedov J. F., Talybov N. G., Abdullaev K. S., Muradova Z. M. "Development of a flexible manufacturing module for the reconstruction of an old car model based on CAD/CAM" // Automotive Industry. 2020. No. 4, pp. 23-30. EDN JNWCQL. (In Russian).]]
- [7] Ющенко А. С. Маршрутизация движения мобильного робота в условиях неопределенности // Мехатроника, автоматизация, управление. 2004. № 1. С. 31–38. EDN YJUKQZ. [[Yushchenko A. S. "Routing of the movement of a mobile robot under uncertainty" // Mechatronics, Automation, Control. 2004. No. 1, pp. 31-38. EDN YJUKQZ. (In Russian).]]
- [8] Девятериков Е. А. Алгоритм описания траектории мобильного робота по данным визуального одометра для автоматического возвращения к оператору // Наука и образование. 2014. № 12. С. 705–715. [[Devyaterikov E. A. "Algorithm for describing the trajectory of a mobile robot based on visual odometer data for automatic return to the operator" // Science and Education. 2014. No. 12, pp. 705-715. (In Russian).]]
- [9] Мамедов Дж. Ф., Талыбов Н., Тагиева Т. Экспертный выбор и оценка инновационного проекта в технологическом парке // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2017. Т. 17. № 4. С. 161–165. EDN ZSSADF. [[Mamedov J. F., Talybov N., Tagieva T. "Expert selection and evaluation of an innovative project in a technology park" // Bulletin of SUSU. Series "Computer technologies, control, radio electronics". 2017. Vol. 17, No. 4, pp. 161-165. EDN ZSSADF. (In Russian).]]
- [10] Миронов К. В. Transport-by-Throwing – робототехнический способ перемещения предметов перебросом: обсуждение научно-технической задачи // СИИТ. 2024. Т. 6. № 1(16). С. 43–58. EDN QGFZBW. [[Mironov K. V. "Transport-by-Throwing – a robotic method of moving objects by throwing: discussion of the scientific and technical problem" // SIIT. 2024. Vol. 6, No. 1(16), pp. 43-58. EDN QGFZBW. (In Russian).]]

- [11] Миронов К. В. Transport-by-throwing – робототехнический способ перемещения предметов перебросом: обзор используемых методов // СИИТ. 2024. Т. 6. № 3(18). С. 3–48. EDN FUUPEN. [[Mironov K. V. “Transport-by-throwing – a robotic method of moving objects by throwing: a review of the methods used” // SIIT. 2024. Vol. 6, No. 3(18), pp. 3-48. EDN FUUPEN. (In Russian).]]
- [12] Петренко В. И., Тебуева Ф. Б., Гурчинский М. М. и др. Алгоритм машинного обучения системы управления антропоморфными манипуляторами // СИИТ. 2021. Т. 3. № 2(6). С. 35–43. EDN USZJSM. [[Petrenko V. I., Tebueva F. B., Gurchinsky M. M., et al. “Machine learning algorithm for the control system of anthropomorphic manipulators” // SIIT. 2021. Vol. 3, No. 2(6), pp. 35-43. EDN USZJSM. (In Russian).]]
- [13] Гурчинский М. М., Тебуева Ф. Б. Обнаружение нарушителя агентами роевых робототехнических систем в условиях недетерминированной среды функционирования // СИИТ. 2024. Т. 6. № 3(18). С. 71–82. EDN AUVYOX. [[Gurchinsky M. M., Tebueva F. B. “Detection of an intruder by agents of swarm robotic systems in a non-deterministic operating environment” // SIIT. 2024. Vol. 6, No. 3(18), pp. 71-82. EDN AUVYOX. (In Russian).]]
- [14] Муслимов Т. З. Методы и алгоритмы группового управления беспилотными летательными аппаратами самолетного типа // СИИТ. 2024. Т. 6. № 1(16). С. 3–15. EDN HOTUZU. [[Muslimov T. Z. “Methods and algorithms for group control of aircraft-type unmanned aerial vehicles” // SIIT. 2024. Vol. 6, No. 1(16), pp. 3-15. EDN HOTUZU. (In Russian).]]
- [15] Вохминцев А. В. Методология решения проблемы одновременной навигации и построения карты на основе комбинирования визуальных и семантических характеристик окружающей среды // СИИТ. 2023. Т. 5. № 3(12). С. 136–155. EDN EFOFFO. [[Vokhmintsev A. V. “Methodology for solving the problem of simultaneous navigation and map construction based on a combination of visual and semantic characteristics of the environment” // SIIT. 2023. Vol. 5, No. 3(12), pp. 136-155. EDN EFOFFO. (In Russian).]]
- [16] Kovács G. L. Artificial intelligence and robotics in digital production and beyond // СИИТ. 2021. Vol. 3. No. 1(5). Pp. 5–19. EDN KWRATY.

*Поступила в редакцию 18 октября 2024 г.*

#### МЕТАДАННЫЕ / METADATA

**Title:** Modeling the design stages of an mobile industrial robot for FMS.

**Abstract:** The article considers a step-by-step solution to the issue of selecting and designing a mobile industrial robot in relation to a flexible manufacturing system (FMS). Using the example of a flexible automated section of a FMS for ensuring automated accumulation of finished products, their transportation and assembly, the issue of selecting and step-by-step designing a mobile industrial robot (MIR) is considered. The analysis of flexible manufacturing systems, their sections and used industrial robots, manipulators, their automated control systems, as well as existing mobile robots for ensuring accumulation, transportation and assembly in a warehouse is carried out. For effective search, selection and design of a mobile industrial robot, a logical algorithm is proposed based on the input conditions of compliance with the purpose, design, technological novelty, as well as an increase in the automation level of this project. Based on the technical data of the analyzed prototypes of mobile robots, which are stored in the database of innovative projects of the FMS, logical conclusions are made to determine the real data and a diagram is constructed - an experimental diagram of the zones of evaluation of the innovative project of the MIR prototype. For the accuracy of the solution of the problem of selection and design of the MIR, the levels of compliance with the parameter of the design, technological change and increase in the automation level of the new mobile industrial robot are determined, ensuring the accumulation, transportation and assembly of finished products in a flexible automated section. When determining the listed parameters of the MIR, uncertainty conditions are set, where the choice of an alternative MIR project is implemented according to the maximax principle, and with the optimality coefficient of the project prototype  $\alpha = 0$ , the maximin principle is implemented. The data of the mathematical expectation of the alternative MIR are the criterion by which the choice of the project is ensured. In accordance with the resolved issues of technical and economic indicators of the MPR, a technical task is set for the design of the design, technological and automation system of the MPR for the flexible manufacture island of the FMS, ensuring the automation of the accumulation and transportation of finished products.

**Key words:** Mobile industrial robot; flexible manufacturing system; automation; design; technical specification and proposal.

**Язык статьи / Language:** Русский / Russian.

#### Об авторе / About the author:

##### ОРУДЖЕВА Гюльшан Эльшад кызы

Сумгаитский государственный университет, Азербайджан.  
Ст. преп. каф. информационных технологий. Докторант. Иссл.  
в обл. системного анализа и обработки информации.  
E-mail: cavan62@mail.ru

##### ORUJEVA Gulshan Elshad

Sumgayit State University, Azerbaijan.  
Head teacher, Dept. of Information technology. Research in  
the field of systems analysis and information processing  
E-mail: cavan62@mail.ru