

Для цитирования

Антипов Д.В., Голубцов Н.С., Гвоздева П.С., Методика проектирования линии роботизированной сборки изделий аэрокосмической техники / III Научно-практическая конференция «Стандартизация: траектория науки», приуроченная ко Всемирному дню стандартов / Москва, 15 октября 2025 г. // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 6(87). С. 128–132.

УДК 621.865.8

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНИИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Антипов Д.В., профессор, Самарский университет, г. Самара

Голубцов Н.С., ассистент кафедры техносферной безопасности, метрологии и технологии материалов, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, г. Чебоксары

Гвоздева П.С., студент, Самарский университет, г. Самара

В работе представлены разработка и описание методики проектирования роботизированных сборочных линий для аэрокосмической техники, включающей три ключевых этапа и применение междисциплинарной команды для создания эффективного производства с полным комплектом документации.

Ключевые слова: индустрия 4.0, киберфизические производственные системы, роботизация производственных процессов, системная интеграция роботизированных комплексов.

METHODS OF ROBOTIC ASSEMBLY LINE DESIGN FOR AEROSPACE PRODUCTS

Antipov D.V., professor, Samara University, Samara

Golubtsov N.S., Assistant Professor of the Department of Technosphere Safety, Metrology and Materials Technology, I.N.Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary

Gvozdeva P.S., student, Samara University, Samara

The work presents the development and description of a methodology for designing robotic assembly lines for aerospace equipment, which includes three key stages and the use of an interdisciplinary team to create an efficient production process with a complete set of documentation.

Keywords: Industry 4.0, cyber-physical production systems, robotization of production processes, and system integration of robotic complexes.

Современный этап развития промышленности характеризуется масштабным переходом предприятий к серийному и крупносерийному производству и кратному повышению производительности труда, что увеличивает спрос на автоматизацию и роботизацию технологических процессов. Указанная тенденция объясняется значительными конкурентными преимуществами роботизированных производственных систем, включая исключение человеческих ошибок, обеспечение стабильного качества, сокращение затрат ресурсов на производство и увеличение производительности труда.

Несмотря на активное внедрение роботизированных комплексов в промышленность, до сих пор отсутствует универсальная методика проектирования таких систем для высокотехнологичных отраслей, в частности – аэрокосмического машиностроения. Разработанная методика устраняет ряд ограничений существующих подходов и является эффективным инструментом проектирования линий роботизированной сборки изделий аэрокосмической техники.

Для осуществления процесса проектирования роботизированных линий собирается межфункциональная команда (МФК), в которую входят специалисты, выполняющие четыре роли: инженера по организации производства, инженера-технолога, инженера по автоматизации и инженера по качеству.

Предлагаемая методика проектирования линии роботизированной сборки изделий аэрокосмической техники состоит из трех ключевых этапов (рис. 1):

1. Анализ продукта и процесса производства.
2. Разработка процесса автоматизированного и роботизированного производства.
3. Отработка технологических решений.



Рис. 1. Общий вид

Первый этап включает в себя анализ текущей конструкции и технологии производства производимой продукции.

Основными результатами первого этапа будут:

- перечень мероприятий по повышению технологичности конструкции изделия, с учетом адаптации под технологические операции роботизированной сборки;
- сформированный перечень текущих ограничений по роботизации;
- рассчитанные текущие показатели производственного процесса.

Полученные результаты первого этапа являются входными данными для последующих этапов проектирования, обеспечивая обоснованность принимаемых технических решений и минимизацию проектных рисков.

Следующим ключевым этапом является проектирование технологического процесса роботизированного производства. Данный этап характеризуется формированием комплексной технической документации.

В частности, для разработки технического оснащения технологу требуется целый ряд нормативно-технических документов, представленных в таблице.

Документация для разработки технического оснащения

№	Документ	Ответственный
1	«Карта стандартизированной работы»	Инженер по организации производства
2	«Описание технологии»	
3	«Типовые стандартные решения по роботизации»	Инженер по автоматизации
4	«Перечень рисков и ограничений по роботизации»	
5	«Перечень технологического оснащения»	Инженер-технолог

Результатами второго этапа являются:

- разработанный технологический процесс роботизированной сборки;
- спроектированное и подобранное технологическое оснащение;
- имитационная модель производственного процесса с расчетом оптимальных производственных показателей;
- перечень технологической документации.

Завершающим элементом выступают апробация и внедрение разработанных технических решений. На данной стадии осуществляется трансформация проектной документации в реальный производственный процесс, обеспечивающая переход от теоретических разработок к их практической реализации. После отработки МФК проводит финальную оптимизацию технической планировки, оснащения и самой технологии изготовления продукта. Результатом данного этапа становится комплект технико-технологической документации, прошедшей согласование, а также полностью готовая к эксплуатации роботизированная сборочная линия.

Результатами третьего этапа являются:

- закупленное и изготовленное технологическое оснащение (роботизированные комплексы, технологическая оснастка, системы транспортировки и хранения);
- организованные рабочие места и производственные участки;
- пусконаладочные работы по системной интеграции роботизированных комплексов и технологической оснастки;
- отработка выполнения технологических операций на стабильность.

Предлагаемая методика обеспечивает систематизацию и структурирование обширного массива проектной документации, формируемого в процессе разработки, необходимой для обеспечения стабильности выполнения технологических операций.

Рассмотрим несколько позиций из перечня итоговых документов каждого этапа.

1. Карта потока процесса (КПП) – необходимый инструмент на стадии проработки процесса роботизированного производства, представляющий собой блок-схему, где отображаются последовательность и способы выполнения операций, а также перемещения материалов. Входными данными для построения КПП являются:

- перечень технологических операций с привязкой к рабочим местам и последовательности выполнения;
- перечень оборудования, инструментов и специализированных приспособлений, задействованных на каждом этапе производства;
- траектории перемещения материалов, узлов и готовых изделий между рабочими местами с указанием точек складирования и маршрутов транспортировки;
- информация о количестве поставок комплектующих и их периодичность.

Данный инструмент помогает на раннем этапе визуализировать технологию изготовления продукта, выявить узкие места, зафиксировать оптимальную логику материалов и последовательность операций. В качестве примера на рис. 2 изображена карта потока процесса сборки беспилотного летательного аппарата роторного типа (БПЛА) с применением роботизированных технических комплексов.

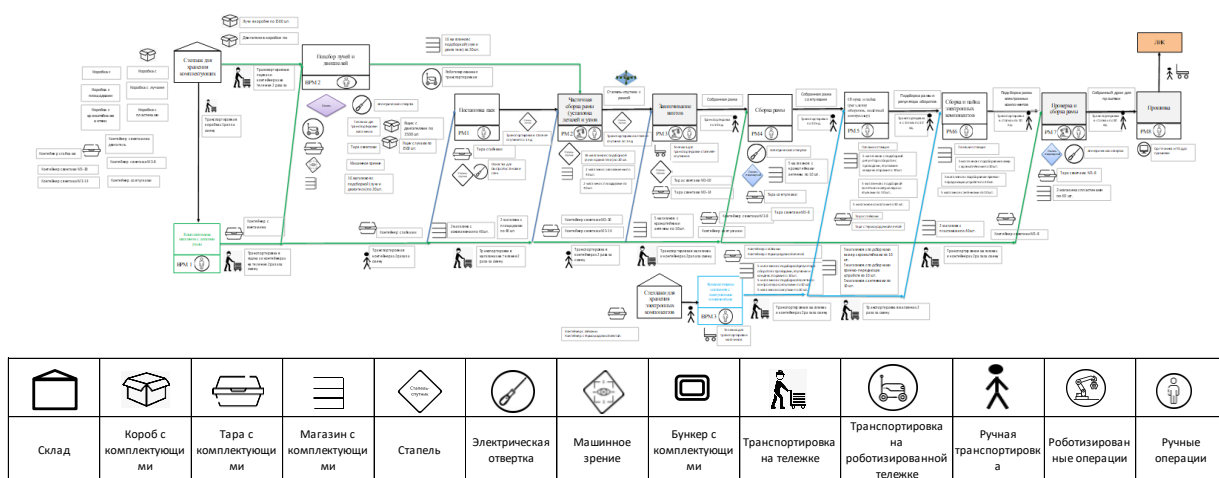


Рис. 2. Пример КПП

2. Карта стандартизированной работы (КСР) (рис. 3) – визуальное представление перемещения персонала, оснастки и материалов в рамках рабочих мест при выполнении технологических операций. Карта содержит в себе схематичную планировку линии (расположение рабочих столов, стеллажей и другого оснащения) и последовательные перемещения оператора и роботизированных комплексов в процессе работы.

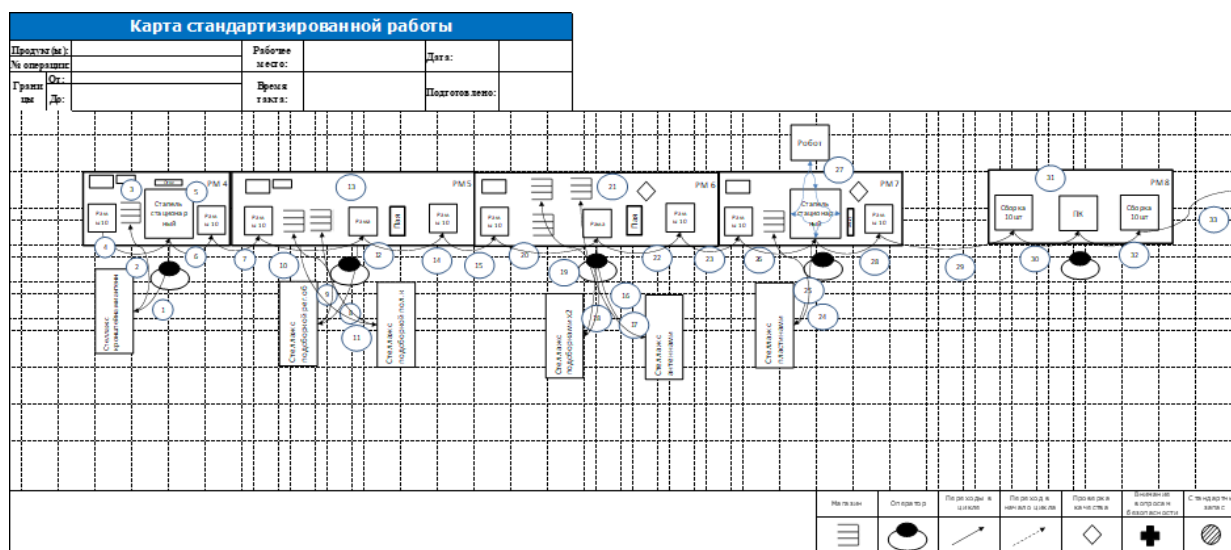


Рис. 3. Пример КСР

Данный инструмент организации производства, предлагаемый в методике проектирования роботизированных сборочных линий, необходим для определения рациональной последовательности движений операторов и роботов, а также для устранения лишних движений, простоев и перепроизводства.

4. Технологическая планировка и маршрутно-операционная карта – ключевые элементы технологической документации, формируемые после реализации всего комплекса методик и инструментов, рассмотренных ранее. Технологическая планировка фиксирует согласованное размещение производственного оснащения в рамках каждого рабочего места технологической линии, обеспечивая оптимальную организацию производственного пространства, а маршрутно-операционная карта фиксирует описание технологических операций производства изделий в последовательности их выполнения.

Разработанная методика проектирования линий роботизированной сборки представляет собой системный подход, объединяющий проектно-конструкторскую проработку производимого изделия, производственно-технологические решения по созданию стабильных технологических процессов, а также организацию производственных линий и участков. Ключевым преимуществом методики является ее адаптивность к высокотехнологичным производствам, где требования к точности, качеству и гибкости процессов особенно критичны.

Внедрение межфункциональной команды (МФК) обеспечивает комплексный охват всех аспектов роботизации – от анализа технологичности конструкции до программирования роботизированных систем и контроля качества. Результатом применения методики становится созданная производственная линия, обеспечивающая стабильность выполнения роботизированных технологических операций, а также комплект технической документации.

Таким образом, предложенный подход способствует значительному повышению производительности производства, сокращению издержек и обеспечению стабильного качества продукции, что подтверждает его практическую ценность для современной промышленности.

Список литературы

1. Каляев И.А. Принципы организации и функционирования безлюдного роботизированного производства с децентрализованным диспетчером / И.А. Каляев, С.Г. Капустян // XII Мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2019): материалы XII мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2019): в 4 томах, Дивноморское, Геленджик, 23–28 сентября 2019 года. Том 3. – Дивноморское, Геленджик: Южный федеральный университет, 2019. – С. 16–18.
2. Климов А.С. Роботизированные технологические комплексы и автоматические линии в сварке [Текст] / А.С. Климов, Н.С. Машнин. – Москва: Лань, 2011.
3. Каляев И.А. Синтез структуры роботизированного производства с децентрализованным диспетчером [Текст] / И.А. Каляев, А.И. Каляев, Я.С. Коровин // Робототехника и техническая кибернетика. – 2016. – №4(13). – С. 4–12.
4. Амелин С.В. Организация производства в условиях роботизации / С.В. Амелин // Эффективность организации и управления промышленными предприятиями: проблемы и пути решения: материалы VI Международной научно-практической конференции, Воронеж, 15 марта 2025 года. – Воронеж: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2025. – С. 18–22.
5. Амелин С.В. Организация производства в машиностроении в условиях цифровой трансформации / Организатор производства, 2020. Т. 28, № 1. С. 17–23.
6. Амелин С.В. Организация производства в условиях применения искусственного интеллекта // Управление инновационно-инвестиционной деятельностью предприятий в условиях санкций. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. Воронеж, 2023. С. 6–10.

References

1. Kalyaev I.A. Principles of the Organization and Functioning of Unmanned Robotic Production with a Decentralized Dispatcher / I.A. Kalyaev, S.G. Kapustyan // XII Multiconference on Management Issues (MKPU-2019): Proceedings of the XII Multiconference on Management Issues (MKPU-2019): in 4 volumes, Divnomorskoye, Gelendzhik, September 23–28, 2019. Volume 3. Divnomorskoye, Gelendzhik: Southern Federal University, 2019. – Pp. 16–18.
2. Klimov A.S. Robotic technological complexes and automatic lines in welding [Text] / A.S. Klimov, N.S. Mashnin. – Moscow: Lan, 2011.
3. Kalyaev I.A. Synthesis of the structure of robotic production with a decentralized dispatcher [Text] / I.A. Kalyaev, A.I. Kalyaev, Ya.S. Korovin // Robotics and technical cybernetics. – 2016. – No. 4(13). – Pp. 4–12.
4. Amelin S.V. Production Organization in the Context of Roboticization / S.V. Amelin // Efficiency of Organization and Management of Industrial Enterprises: Problems and Solutions: Materials of the 6th International Scientific and Practical Conference, Voronezh, March 15, 2025. Voronezh: University Book Closed Joint-Stock Company, 2025. – Pp. 18–22.
5. Amelin S.V. Production Organization in Mechanical Engineering in the Context of Digital Transformation / Organizer of Production, 2020, Vol. 28, No. 1, pp. 17–23.
6. Amelin S.V. Production Organization in the Context of Artificial Intelligence / Management of Innovative and Investment Activities of Enterprises in the Context of Sanctions. Collection of Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. Voronezh, 2023, pp. 6–10.