

Иванов Никита Андреевич

студент, 4 курс, факультет «Автоматизация технологических процессов и производств» Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. Россия, г. Нижний Новгород

Мамонов Роман Сергеевич

студент, 4 курс, факультет «Автоматизация технологических процессов и производств» Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. Россия, г. Нижний Новгород

Рякин Максим Алексеевич

студент, 4 курс, факультет «Автоматизация технологических процессов и производств» Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. Россия, г. Нижний Новгород

Кузнецов Михаил Константинович

студент, 4 курс, факультет «Автоматизация технологических процессов и производств» Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. Россия, г. Нижний Новгород

Калюжнов Евгений Ярославович

студент, 4 курс, факультет «Мехатроника и робототехника» Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева. Россия, г. Нижний Новгород

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ОРГАНИЗАЦИОННО-
ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВНЕДРЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ
СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ В
ПРОИЗВОДСТВО АВТОКОМПЛЕКТУЮЩИХ**

В статье рассматриваются организационно-технические аспекты внедрения дополнительного роботизированного сварочного комплекса на предприятии по производству автокомплeктующих. Анализируются преимущества автоматизации, включая стабильность качества, рост производительности, экономию материалов и снижение кадровой зависимости. Изучаются ограничения и риски, такие как высокий порог входа, жёсткие требования к допускам заготовок и дорогостоящие простои при аварийных остановках. Отдельное внимание уделяется разработке организационной методики внедрения, охватывающей выбор оборудования, перебалансировку задач в сварочном процессе, создание алгоритмов управления и реорганизацию производственного пространства с применением планировочных решений и трёхмерного моделирования. На основе

проведённого анализа определены критические факторы успеха, позволяющие минимизировать риски и обеспечить окупаемость инвестиций.

Ключевые слова: автоматизация, роботизированный технологический комплекс, РТК, внедрение, производительность.

Annotation: The article addresses the organizational and technical aspects of establishing an additional robotic welding complex at an automotive component manufacturing plant. The advantages of automation are analyzed, including consistent quality, increased productivity, material savings, and reduced reliance on personnel. Limitations and risks are being examined, such as high barriers to entry, stringent workpiece tolerance requirements, and costly downtime due to emergency stoppages. Particular attention is paid to developing an organizational implementation methodology that encompasses equipment selection, task rebalancing within the welding process, the creation of control algorithms, and the reorganization of the production space using layout solutions and 3D modeling. Based on the analysis performed, critical success factors have been identified that enable risk minimization and ensure a return on investment.

Keywords: automation, robotic manufacturing system, RMS, implementation, productivity.

Введение

Рост спроса на отечественные автомобили приобрел устойчивый характер благодаря политике импортозамещения и уходу зарубежных брендов. Покупатели всё чаще выбирают российские марки, что создает серьезную нагрузку на заводы. Однако производственные мощности работают на пределе, а критическая нехватка комплектующих не позволяет нарастить выпуск. Дефицит деталей тормозит сборку, удлиняет сроки ожидания и подрывает доверие клиентов. Спрос продолжает расти, а предложение отстаёт — этот разрыв становится главным вызовом для отрасли. С такой проблемой столкнулся определенный завод в секторе сварки комплектующих изделий. В сложившихся условиях ускоренное внедрение дополнительных роботизированных комплексов способно частично снять напряжённость,

автоматизировав самые узкие места и повысив общий объём выпуска без кардинального расширения площадей. Необходимо выяснить преимущества и недостатки данного решения и с какими сложностями придется столкнуться.

Преимущества внедрения РТК

1. Стабильный уровень качества.

Роботизированный комплекс [1, с. 236] работает по строго заданной программе, поэтому он не подвержен усталости, эмоциональному состоянию или внешним отвлекающим факторам. Каждое движение повторяется с высокой точностью, благодаря чему каждый сварочный шов или соединение идентичны предыдущему. Полное исключение человеческого фактора гарантирует предсказуемость результата на каждой операции, что в разы снижает вероятность возникновения дефектов и отклонений от технических норм.

2. Высокая производительность.

В отличие от человека, робот не нуждается в перерывах на обед, отдых или смену деятельности [2]. Он способен работать непрерывно с максимальной расчётной скоростью на протяжении всей смены, суток или даже недели. Это позволяет значительно увеличить количество обработанных деталей за единицу времени и максимально эффективно использовать дорогостоящее оборудование без простоев.

3. Экономия материалов.

Точность контроля расхода материалов — ещё одно важное преимущество. Робот автоматически регулирует подачу сварочной проволоки и защитного газа строго по технологической карте, не допуская излишнего перерасхода. Исключаются ситуации, когда человек интуитивно увеличивает подачу «для надёжности» — экономия становится ощутимой при больших объёмах производства.

4. Безопасность

Робот берёт на себя все опасные операции, связанные со сваркой, резкой или покраской. Человек-оператор при этом находится за защитным

ограждением или на безопасном удалении. Полностью исключаются такие риски, как отравление токсичными сварочными аэрозолями, термические ожоги от брызг расплавленного металла и повреждение зрения от яркого ультрафиолетового излучения.

5. Исключение проблем с кадрами.

Рынок труда остро испытывает дефицит высококвалифицированных сварщиков и операторов сложного оборудования — этих специалистов сложно найти, обучить и удержать из-за высокой конкуренции. Автоматизация с помощью РТК снимает эту кадровую зависимость: для обслуживания линии достаточно оператора более низкой квалификации, что упрощает подбор персонала и снижает риски остановки производства из-за человеческого фактора.

Недостатки внедрения РТК

1. Высокий порог входа.

Стоимость полноценного роботизированного комплекса складывается из нескольких дорогостоящих компонентов: сам промышленный робот, управляющий контроллер, позиционер для фиксации деталей и дополнительное оснащение. В итоге суммарные инвестиции могут достигать десятков миллионов рублей — это серьёзная нагрузка на бюджет предприятия, особенно для среднего бизнеса. Кроме того, к капитальным затратам добавляются регулярные эксплуатационные расходы: дорогостоящее программирование под конкретные задачи, пусконаладочные работы, а также плановое техническое обслуживание и замена расходных элементов, что требует постоянного финансового резерва

2. Серьёзные требования к деталям.

Робот работает строго по заложенной программе и не способен адаптироваться к отклонениям геометрии заготовок, как это делает человек [3, с. 45]. Допуски на поступающие детали должны быть минимальными — любое несоответствие размеров или формы приводит к тому, что робот может сместить сварочную горелку или неправильно сориентировать инструмент. В

результате даже при безупречной работе комплекса готовый шов или соединение может оказаться с дефектом, что потребует переделки и сведёт на нет все преимущества автоматизации.

3. Дорогой простой.

Выход из строя любого ключевого элемента — контроллера, сервопривода или позиционера — влечёт за собой полную остановку всей линии на неопределённое время. Ремонт осложняется сразу двумя факторами: во-первых, логистика запасных частей часто занимает недели, особенно если комплектующие импортные и попали под санкционные ограничения; во-вторых, для диагностики и восстановления требуются высококвалифицированные инженеры-робототехники, которых на рынке крайне мало, а их услуги стоят дорого. Каждый час простоя обходится предприятию в значительные убытки из-за невыпущенной продукции и срыва сроков поставок.

Сложности при внедрении РТК

1. Выбрать новый РТК.

Выбор РТК является очень важным действием, так как от него будут зависеть:

- 1) финансовые результаты проекта: ошибка на этапе подбора приведет к некупаемости инвестиций, росту себестоимости продукции;
- 2) несовместимость с реальной номенклатурой: робот с неподходящими характеристиками по скорости может оказаться непригоден для сварки;
- 3) человеческий фактор и квалификация персонала: разные бренды и модели требуют разного уровня подготовки персонала;
- 4) безопасность и надежность: несоответствие РТК реальным нагрузкам или условиям среды (запыленность, влажность, вибрации) ведет к аварийным остановам, травматизму персонала и повреждению оборудования.

Поэтому при выборе следует провести сравнительный анализ РТК, которые доступны на российском рынке и минимизировать риски ошибочной покупки.

2. Выполнить перебалансировку задач в сварочном процессе.

Дополнительный комплекс должен взять на себя задачи РТК или операторов-сварщиков, чтобы разгрузить «узкие места» на производстве. Необходимо понимать, что задачи между рабочими местами нужно распределить так, чтобы время каждой операции составляло примерно равное количество. В противном случае будет на каком-либо месте может происходить лимитирующая операция (лимитирующая операция – это этап производственного процесса, который имеет наименьшую пропускную способность по сравнению с другими операциями.), которая будет тормозить все производство настолько, что производительность будет только снижаться.

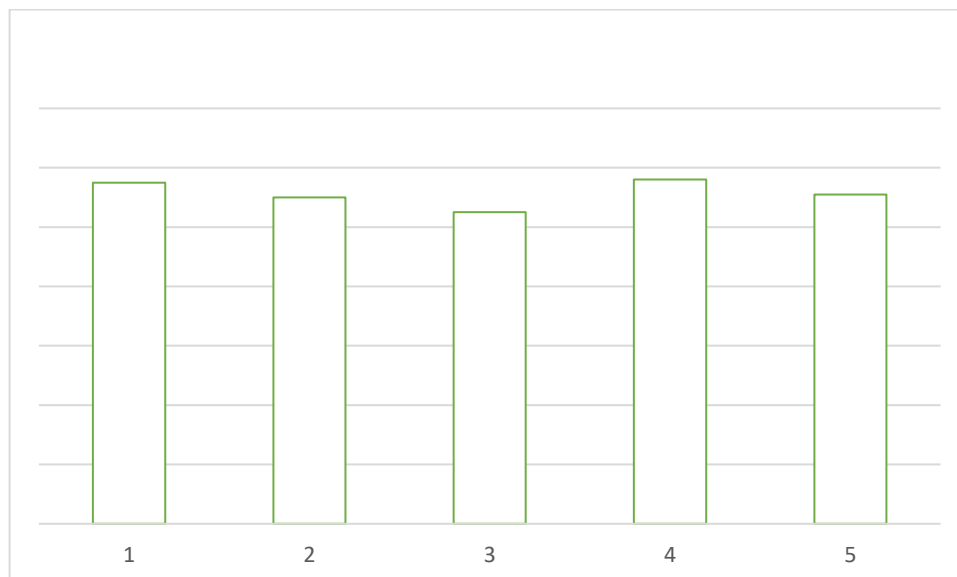


Рисунок 1. Отличное распределение задач

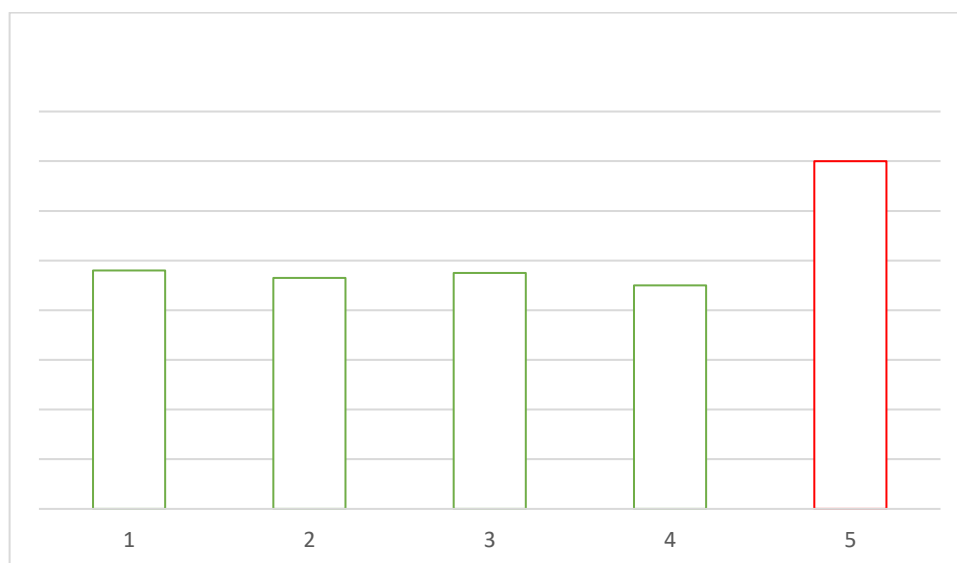


Рисунок 2. Неудовлетворительное распределение задач

3. Написать алгоритм и программу работы РТК.

Необходимо создать алгоритм действия сварочного робота с учетом физики процесса, работы датчиков и безопасности [4, с. 421].

Алгоритм будет решать такие задачи как: объединение экспертов (сварщик и программист смогут лучше понимать друг друга, так как блок-схема является наглядной), снижение числа ошибок (благодаря схеме будут выявляться неоднозначности), упрощение обучения (у наладчика появится дополнительный информационный материал для понимания процесса).

После следует написать программу на базе алгоритма для работы комплекса. Для этого понадобятся высококвалифицированные специалисты, которые смогут предусмотреть все нештатные ситуации и план работы робота при различных типах аварий.

4. Совершить реорганизацию производства.

При реорганизации производства правильным подходом будет спроектировать планировочное решение и, по возможности, трехмерную модель производства.

Планировка производственной линии сможет показать, как будет располагаться рабочее оборудование внутри потока сварки, на каком расстоянии объекты находятся друг от друга, как соединяются и взаимодействуют. Оно выполняет такие важные задачи как: размещение оборудования (позволяет правильно расставить технику, неправильное расположение приведет к нехватке места, травмам или простою), оценка безопасности (производится проверка расположения аварийных выходов), помощь при заказе (с его помощью можно заказать оборудование нужных габаритов, чтобы предотвратить возникновение проблем при монтаже), оптимизация потока сварки (помогает создать кратчайшей путь перемещения деталей, без каких-либо пересечений).

Создание трехмерной модели потока сварки является важной частью при модернизации производства [5]. Она помогает визуализировать проект до его реализации и выявить проблемы до их возникновения при внедрении и

монтаже нового или перестановке уже существующего оборудования. С помощью не только чертежей, но и 3D модели, можно гораздо быстрее изучить суть и этапы реализации проекта. Также она позволяет работникам, которые участвуют в разработке данного проекта, изучать актуальную информацию и быть в курсе всех событий, не находясь на самом производстве по каким-либо весомым причинам.

Задачи, которые выполняет трехмерная модель производства:

- 1) обнаружение ошибок: при модернизации потока выявляет ошибки планировки и узкие места, до закупки дорогостоящего оборудования и исключает дорогостоящие перепланировки или ошибки монтажа;
- 2) анализ коллизий: позволяет понять не пересекается ли оборудование и не создает ли они помехи для персонала;
- 3) налаживание системы логистики: помогает скорректировать маршруты для транспортировки комплектующих изделий;
- 4) оптимизация площадей: служит для целесообразного размещения нового оборудования и перепланировки существующего;
- 5) единый источник правды: весь персонал анализирует и работает с единой трехмерной моделью;
- 6) безопасность: помогает произвести оценку путей эвакуации и доступа к аварийным выключателям;
- 7) обучение: процесс обучения нового сотрудника может ускориться при визуализации процесса;
- 8) визуализация для инвесторов: трехмерная модель понятна не только инженерам, но и человеку, который не связан с чертежами. Поэтому ее можно презентовать инвесторам или заказчику для ускорения процесса одобрения решений.

Заключение

В ходе исследования были рассмотрены преимущества и недостатки внедрения дополнительных роботизированных сварочных комплексов в

производство автокомплектующих, а также организационно-технические сложности, возникающие на всех этапах автоматизации.

Особое внимание уделено практическим этапам внедрения. Показано, что успех проекта зависит от грамотного выбора оборудования с учётом реальной номенклатуры, правильной перебалансировки операций для устранения лимитирующих участков, качественного алгоритмического и программного обеспечения, а также тщательной реорганизации производства с использованием планировочных решений и трёхмерного моделирования.

Таким образом, внедрение РТК является эффективным, но высокочувствительным и технически сложным инструментом повышения производительности сварочных участков.

Использованные источники:

1. Климов А.С., Машнин Н. Е. Роботизированные технологические комплексы и автоматические линии в сварке: учеб. пособие. — 5-е изд. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 236 с.

2. Стратегическое планирование и оптимизация процессов роботизации (на примере сварочного производства) // КиберЛенинка: [сайт]. — URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 15.08.2026).

3. Ивановский С.П., Долотов К.С. Алгоритм интеллектуального планирования траектории движения сварочного робота с использованием компьютерного зрения // Журнал НИЦ МС. — 2023. — № 2. — 45 с.

4. Гладков Э.А., Бродягин В.Н., Перковский Р.А. Автоматизация сварочных процессов: учебник. — 3-е изд. — Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — 421 с.

5. Планирование траекторий роботов-манипуляторов в технологическом процессе точечной контактной сварки // КиберЛенинка: [сайт]. — URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 15.08.2026).