

УДК 65.011.56

О ПОДГОТОВКЕ И РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ РОБОТИЗАЦИИ МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

© 2025 В.Ю. Мефодьев, М.Ф. Сафаргалиев

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ,
г. Казань, Россия

Статья поступила в редакцию 16.01.2024

Роботизация в механообрабатывающих производствах является одной из составляющих четвертой промышленной революции. Решение, позволяющее повысить производительность и качество продукции, расшить узкие места с персоналом сегодня прочно занимает лидирующие позиции в списке доступных инструментов развития среднесерийных механообрабатывающих производств во всем мире. Активное развитие тема роботизации получила и на российских предприятиях машиностроительной отрасли. Несмотря на ежегодный рост количества внедренных промышленных роботов, критерии готовности производственных систем к внедрению таких комплексов не сформулированы. Как и любой специализированный инструмент, роботизированные комплексы имеют определенные требования к уровню производственных систем организации, включающих подготовку персонала, технологическую дисциплину, техническое оснащение, внедренные цифровые системы учета и анализа производства. В статье рассмотрены три роботизированных комплекса на базе токарных и фрезерных обрабатывающих центров применяемых в механообработке деталей авиационной отрасли и комплектующих электроцентробежных насосов. Фактические результаты производительности данных комплексов оказались далеки от проектных: отклонение реальной производительности от проектной, падение производительности комплекса ввиду особенностей заготовки и партии запуска, падение производительности участка ввиду особенностей оснащения оборудования. На базе этих примеров обоснована объективная необходимость комплексного подхода, который позволит достигнуть фактических показателей производительности в соответствии с плановыми. Сформулирован чек-лист объективных требований к организации производства на примере реализованного проекта внедрения промышленного манипулятора на токарном участке позволяющий оценить готовность производственных систем. Рассчитано возможное увеличение производительности участка из двух токарных станков оснащенных промышленным манипулятором для смены заготовок. Сделан вывод по результатам проведенного теоретического анализа и расчетов.

Ключевые слова: организация производства, современные решения увеличения производительности, производственный процесс, индустрия 4.0, безлюдное производство.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-1-24-31

EDN: SNJIRA

ВВЕДЕНИЕ

Механообрабатывающие производства трансформируются в связи с появлением новых технологий. Роботизация и автоматизация процессов становятся ключевыми факторами, влияющими на производительность, качество и экономическую эффективность. Для успешного перехода к роботизированным системам необходимо оценить готовность предприятий к этим изменениям.

Важно отметить, что в российской практике существует масса проектов на предприятиях, получивших финансирование, но не получивших запланированных результатов, по причине неготовности производственных систем предприятий к внедрению роботизированных технологий.

Роботизация, как и любое нововведение рассматривается в различных проекциях научным сообществом.

В связи с этим, целью статьи являлось исследование теоретико-практических аспектов создания роботизированных ячеек в механообрабатывающих производствах, а также описание практики непосредственного внедрения манипуляторов на имеющемся оборудовании.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Исследовать вопросы современной теории и практики роботизации в современной промышленности, в том числе в механообрабатывающего производства.

2. Разработать чек-лист позволяющий оценить готовность производственной системы к внедрению роботизации.

Мефодьев Валерий Юрьевич, аспирант кафедры экономики и управления на предприятии.

Сафаргалиев Мансур Фуатович, кандидат экономических наук, заведующий кафедрой экономики и управления на предприятии. E-mail: kafedra@eupkai.ru

3. Разработать формулу позволяющую корректно оценивать производительность роботизированной ячейки.

АНАЛИЗ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ РОБОТИЗАЦИИ В СОВРЕМЕННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Роботизация, как и любое нововведение рассматривается в различных проекциях научным сообществом.

Влияние на социум, а именно сокращение рабочих мест, это первая ассоциация связанная с роботизацией. Данный вопрос был рассмотрен в статье «Влияние роботизации на состояние Российского рынка труда» Муродуллаева А.А., который проанализировал взаимосвязь роботизации и безработицы, особо подчеркнув, что роботизация, как форма применения новейших технологий в производстве, способствует повышению производительности труда. Автором в 2018 году выявлены негативные последствия роботизации, связанные с ростом технологической безработицы. Очевидно, что в 2024 году на фоне дефицита кадров в машиностроении данный прогноз не оправдался или был преждевременным [1].

Влияние роботизации на глобальный рынок труда рассматривают Абрамов Д.С. и Ермоленко Ю.А. – стремительное развитие робототехники в последние десятилетия, ее распространение в различных отраслях промышленности и сферах услуг. Особое внимание уделяется анализу влияния роботизации на занятость, в частности, на сокращение рабочих мест в таких отраслях, как производство, логистика и розничная торговля. Приводятся данные о плотности роботизации в различных регионах мира, которые отражают текущие глобальные тенденции [2].

В статье Васиной М.В. и Богатенко Е.Р. роботизация в России: проблемы и перспективы развития внимание сфокусировано на роботизации промышленности в России в сравнении с мировыми показателями по внедрению роботов. Констатируется серьезное отставание в данном аспекте от технологически развитых стран. Выявлены положительные и отрицательные стороны роботизации. Рассматриваются различные варианты применения данного типа оборудования в технологических процессах [3].

В статье Бакуниной Т.А.: комплексная автоматизация производственных процессов в машиностроении представлены преимущества, проблемы и принципы построения технологии при комплексной автоматизации процессов, а также основные направления, тенденции и перспективы развития комплексной автоматизации производственных процессов - высшая форма автоматизации, при которой из технологического и вспомогательного оборудования могут быть скомпонованы автоматические линии, цеха, заводы, где в едином потоке осуществляются процессы получения заготовок, механической обработки, контроля, термообработки, сборки, окраски, упаковки и консервации, в который робот выполняет лишь роль манипулятора, т.е. грузоподъемного механизма [4].

Иные подходы рассмотрены в статьях: управление вибрационным состоянием робота при силовом взаимодействии с шероховатой поверхностью неопределённого профиля [5], роботизация отделочной обработки авиационных агрегатов [6], интеллектуальный робототехнический комплекс для финишной обработки проточной части лопаток газотурбинных двигателей [7]. Авторами подробно разобраны нюансы применения роботов в качестве технологического оборудования для различных типов механической обработки.

В статье «алгоритмы поиска энергоэффективного положения комплекса траекторий движения промышленного робота в составе технологического процесса» приведен алгоритм оптимизации, позволяющий повторить результаты повышения энергоэффективности роботизированного процесса и адаптировать их под любую типовую модель промышленного робота [8]. Исследуются алгоритмы перемещения позволяющие снизить энергозатраты за счет нахождения оптимального расположения комплекса траекторий движения управляющей программы в рабочем пространстве промышленного робота. Представлены результаты тестирования алгоритма, демонстрирующие существенный потенциал энергосбережения и целесообразность применения разработанных средств. Разработан графический интерфейс пользователя, облегчающий процедуру настройки энергоэффективного режима для проектировщика роботизированного технологического процесса.

Вопросы технологического превосходства и опережающего развития производственных мощностей всегда являлись государственно значимыми. С 2024 г. Росстат запустил федеральное статистическое наблюдение, направленное на оценку использования промышленной робототехники в обрабатывающих производствах. На основе уже полученных данных Институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ впервые проанализировал уровень роботизации российской промышленности в региональном и отраслевом разрезе, а также сопоставил текущую ситуацию с перспективами развития промышленной робототехники [9].

Опыт роботизации в Российской Федерации рассматривается и зарубежными научными сотрудниками. Сергиевич Т.В. к.э.н., доцент, Белорусского национального технического университета проецирует алгоритмы развития роботизации и прогнозирует результаты на основе российского опыта [10].

В 1987 году была создана некоммерческая международная федерация робототехники. Ежегодно публикуются отчеты, отражающие динамику развития роботизации на глобальном рынке. Согласно отчета 2023 года ежегодное количество устанавливаемых роботов в мире превышает полмиллиона штук третий год подряд.

В 2023 году 51% объема установленных промышленных роботов пришелся на КНР. Топ-5 стран по количеству установленных промышленных роботов с долей 79% от общего объема: КНР, Япония, США, Южная Корея, Германия.

Несмотря на значительную исследовательскую активность в области роботизации промышленных предприятий, задачи определения критериев готовности к внедрению промышленных роботов на участках механической обработки не сформулированы. С целью минимизации получения негативных результатов в ходе реализации таких проектов считаю необходимым выделить наиболее важные аспекты критически важной инфраструктуры и спрогнозировать риски при их отсутствии [11].

РОБОТИЗАЦИЯ В РОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОЖИДАНИЕ И РЕАЛЬНОСТЬ

Разберем несколько проектов с негативным результатом, два примера предприятие авиационной отрасли и производство комплектующих электроцентробежных насосов :

1. На одном из авиационных производств в рамках программы технического переоснащения был приобретен 5-ти осевой токарно-фрезерный обрабатывающий центр оснащенный роботом загрузчиком порталного типа. Gantry loader (гантри загрузчик) – высокоскоростной манипулятор оснащенный станцией загрузки и выгрузки заготовок передвигающийся по рельсе над станком. Данное решение высокопроизводительное и предназначено для серийного выпуска деталей. На предприятии, где применено данное технологическое решение партии запуска не превышают несколько десятков заготовок. Переналадка манипулятора под малые партии занимает больше времени чем смена заготовок оператором. По этой причине робот просто не задействован в производственном процессе.

2. Вертикально-фрезерные обрабатывающие станки, без подготовки к роботизации объединены в производственную ячейку с манипулятором. Подготовка к роботизации на сегодня это стандартный пункт в списке опций при заказе оборудования. Как правило он включает разъем для подключения манипулятора, а также дополнительные порты для подключения автоматической зажимной оснастки. В противном случае результат получим как в данном примере – в связи с отсутствием возможностей подключения стандартными способами были использованы модули нулевого базирования по типу Shunk Vero-S, которые находятся в нормально зажатом состоянии и для разжима используется сжатый воздух подаваемый манипулятором. Алгоритм смены заготовок получился сложным и длительным, также при выборе модели не было уделено должного внимания грузоподъемности манипулятора, что в последствии наложило дополнительные ограничения при эксплуатации. Итог закономерен, дорогостоящее оборудование простаивает на консервации.

3. С целью увеличения производительности и повышения качества продукции на токарных станках было внедрено решение с промышленным манипулятором. В проект создания производственной ячейки добавили станцию загрузки и выгрузки заготовок, контрольно-измерительную машину и станцию продувки заготовок. При расчете производительности данного комплекса в расчет взяли только время обработки деталей на станке без учета потерь времени на вспомогательные операции, что явилось причиной расхождения проектных и фактических показателей производительности. Не были учтены потери времени на такие операции технологического процесса как измерение и продувка.

КРИТЕРИИ ГОТОВНОСТИ К РОБОТИЗАЦИИ

Роботизация производства — процесс внедрения робототехнических систем в производственные процессы для повышения их эффективности и автоматизации рутинных задач. На мой взгляд, самой большим негативным человеческим фактором является повторяемость результата. Именно этот фактор вносит большую погрешность в прогнозируемость результатов. Исследование возможностей роботизации проводилось авторами на примере токарного участка в рамках механообра-

батывающего производства на одном из машиностроительных предприятий. Рассматриваемое механообрабатывающее производство включает в себя процессы, направленные на превращение заготовок в готовую продукцию с использованием различных технологий обработки, таких как фрезерование, токарная обработка и шлифование.

Авторами сформулированы минимальные требования к подготовке роботизации в механообрабатывающих производствах на примере оборудования токарной и фрезерных групп.

Минимальные требования к подготовке роботизации производства.

1. Технологическая инфраструктура: наличие современных IT-систем и оборудования.

Первым и наиболее важным критерием готовности к роботизации является наличие современной технологической инфраструктуры. Это включает в себя оборудование, программное обеспечение, а также системы управления данными. Современные станки с числовым программным управлением (ЧПУ), которые могут взаимодействовать с роботизированными системами, являются основой для успешного внедрения роботизации. Необходима также интеграция систем обеспечения качества и мониторинга производственных процессов начиная с подготовки производства до сдачи детали.

2. Процессная зрелость: стандартизированные и оптимизированные бизнес-процессы.

Стандартизация и оптимизация существующих процессов – роботизация это все же эволюция, а не революция, по этой причине встраивание в текущие отработанные технологические процессы манипуляторов более простой и прогнозируемый путь. Процессная зрелость предприятия включает в себя стандартизацию и оптимизацию существующих бизнес-процессов. Прежде чем внедрять роботизацию, необходимо убедиться, что процессы отлажены и эффективны. Применение методов Lean и Six Sigma. Объективные задачи по минимизации потерь и повышению производительности. Организация должна иметь четкие шаблоны выполнения задач и понимать, как процесс будет изменяться в условиях роботизации.

3. Квалификация персонала: наличие соответствующих навыков у сотрудников. Необходимость обучения навыкам работы с роботизированными системами. Программы повышения квалификации. Важно помнить, что с возрастанием сложности оборудования, вырастает его стоимость и в прямой зависимости от этих величин – стоимость ошибки персонала. Необходим подход не только в обучении, но и в контроле знаний с допуском или отстранением некомпетентного персонала. 4. Финансовая готовность: готовность финансово вкладываться в роботизацию. Внедрение роботизированных систем требует значительных капитальных вложений, поэтому важно провести детальный анализ затрат и выгод. Это включает в себя оценку быстрых и долгосрочных рисков, связанных с инвестициями, а также потенциальные экономические выгоды от повышения производительности и снижения затрат.

5. Управленческая поддержка: поддержка руководства и стратегический подход к изменениям.

Поддержка на уровне руководства является необходимым условием для успешного внедрения изменений. Менеджмент должен понимать преимущества роботизации и быть готовым к принятию сложных решений, связанных с ресурсами и организационной структурой. Важно, чтобы более высокие уровни управления активно участвовали в процессе планирования и реализации инициатив, обеспечивая необходимую поддержку и финансирование.

6. Корпоративная культура: открытость к внедрению новых технологий и изменениям. Культура предприятия также играет важную роль в готовности к роботизации. Организация должна быть открыта к изменениям и инновациям, чтобы сотрудники могли адаптироваться к новым технологиям. Это может потребовать изменения мышления и восприятия, где ошибки рассматриваются как шаги на пути к обучению и улучшению. Формирование культуры непрерывного обучения и инноваций поможет смягчить сопротивление изменениям со стороны работников.

7. Аналитика данных: способность собирать и анализировать данные для принятия решений.

Способность организации собирать и анализировать данные для принятия обоснованных решений – еще один важный аспект готовности к роботизации. Современные системы управления производством требуют получения аналитических данных о процессе, чтобы оптимально распределять ресурсы и управлять производственными потоками. Это может включать в себя использование больших данных и технологий мониторинга состояния оборудования и предсказания возможных отказов.

Сведем разобранные составляющие проекта в чек-лист для случая с отработанной технологией на примере станков токарной группы с целью выполнения плановых показателей производительности и повышения качества выпускаемой продукции.

Представим минимальные требования к подготовке роботизации производства в виде соответствующего чек-листа (Табл. 1).

Таблица 1. Чек-лист проекта роботизации

№	Наименование	Составляющие
1	Технологическая инфраструктура	Токарные станки с ЧПУ с опциями: автоматический привод двери, система продувки патрона, датчик измерения детали и режущего инструмента, разъем подключения промышленного манипулятора
2	Процессная зрелость	технологический процесс обработки детали со стабильными подтвержденными результатами; производственная система, основанная на подходе Канбан, исключающая простой оборудования по причине отсутствия заготовок/режущего инструмента/прочих расходных материалов.
3	Квалификация персонала	Компетенции наладчика должны включать программирование промышленных манипуляторов. В случае их отсутствия возможно повреждение дорогостоящего оборудования и длительный простой в ремонте.
4	Финансовая готовность	Увеличение производительности и снижение себестоимости одной единицы изделия достигается путем увеличения капитальных затрат. Необходим анализ сроков окупаемости, особенно важно при привлечении заемных средств
5	Управленческая поддержка	Системный подход к реализации проектов на предприятии регламентированный внутренними положениями, структурой, должностными инструкциями.
6	Корпоративная культура	Внедренная философия Кайдзен
7	Аналитика данных	Внедренная ERP система

Внедрение роботизации в соответствии с данным чек листом позволит: учесть нюансы на стадии создания проекта, оперативно его реализовать, получить достоверные результаты и запустить процесс оптимизации в цикличном режиме.

РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ РОБОТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ ТОКАРНОГО УЧАСТКА МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассчитаем результативность роботизации производственных процессов на примере токарного участка механообрабатывающего производства.

Техническая (фактическая) производительность станка с ЧПУ определяется как «доля единицы продукции (детали), изготавливаемой в единицу времени», и рассчитывается по формуле:

$$Q = 1 / (t_p + t_{ц} + t_{вц}),$$

где t_p — время на осуществление рабочих операций при непосредственной обработке детали; $t_{ц}$ — потери времени, предусмотренные циклом работы станка и связанные с быстрыми перемещениями станка, сменой инструмента и выполнением других технологических (вспомогательных) команд; $t_{вц}$ — потери времени, не предусмотренные циклом работы станка (внецикловые потери).

Преобразуем данную формулу для оценки производительности роботизированного комплекса:

$$Q_{\text{РТК}} = 1 / (t_{\text{всп ртк}} + t_{\text{маш ртк}}) = \\ = \sum_{i=1}^n (1 / (t_{\text{всп } n} + t_{\text{маш } n})),$$

где n – количество станков в ячейке, $t_{\text{всп ртк}}$ – время на вспомогательные операции по перемещению заготовки; $t_{\text{маш ртк}}$ – время обработки детали на станках.

Сравним производительность в смену (12 часов) роботизированной ячейки с манипулятором и стандартного на сегодня решения два станка и один оператор на примере типовой детали со временем обработки T не более 1 минуты и обработкой в 2 установа. Время вспомогатель-

Таблица 2. Расчет производительности участка

Операции	Оператор	Манипулятор
Установка заготовки	$T/2$	$(T/2)*0,8$
Тмаш. 1ый установ	T	T
Установка заготовки	$T/2$	$(T/2)*0,8$
Тмаш. 2ой установ	T	T
Снятие, контроль	$T/2$	$(T/2)*0,8$
Производительность 1 станка	$1/(T/2+T)$	$1/((T/2)*0,8+T)$
Производительность 2 станка	$1/(T/2+T)$	$1/((T/2)*0,8+T)$
Производительность участка	$2/(T/2+T)$	$2/((T/2)*0,8+T)$
Время простоя, мин	115	50
Итого деталей в смену	$(720-115)/(T/4+T/2)=806/T$	$(720-50)/((T/4)*0,8+T/2)=957/T$

ных операций примем за $T/2$ в случае с оператором и предположим что робот позволит нам улучшить этот показатель на 20%. Средняя линейная скорость перемещения промышленных манипуляторов составляет 2-3 м/сек., повторяемость данных показателей 100% в течение всего рабочего времени, что для человека является довольно сложной задачей. Возможное сокращение подготовительно-заключительного времени зависит от многих факторов помимо линейной скорости перемещения: путь от станции загрузки-выгрузки заготовок, точные операции выполняемые на малой скорости, автоматизация открытия двери станка и продувка патрона. Эффективно сравнить производительность в данном случае возможно с помощью хронометража. Не лишним будет отметить, что оператор в случае с токарными станками может обслуживать только два станка по причине короткого времени обработки и необходимости перемещения заготовок, в случае с роботизированной ячейкой возможности операторакратно возрастают. Также необходимо учесть, что рабочее время оператора в 12 часовой смене составляет 655 минут, т.к. предусмотрен обеденный перерыв 45 минут и два перерыва на отдых по 10 минут, в случае с роботом смена составит 720 минут. Из рабочего времени также необходимо вычесть регламентную смену режущего инструмента по 10 минут каждые 2 часа, итого потери в смену составят 50 минут. Данный расчет применим и показателен для любой детали с небольшим временем машинной обработки.

Из расчетов очевидно, что в данном проекте мы получим повышение производительности на 18,7% при условии сокращений подготовительно заключительного времени на 20% за счет более быстрых перемещений манипулятора и отсутствия перерывов в работе обусловленных требованиями ТК РФ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках статьи: исследованы вопросы современной теории и практики роботизации на примерах реализованных проектов; разработан чек-лист минимальных требований позволяющий оценить готовность производственной системы к внедрению роботизации; разработана формула позволяющая оценить производительность производственной ячейки оснащенной манипулятором для перемещения заготовок на базе токарных обрабатывающих центров.

Внедрение роботизации в механообрабатывающее производство является сложным и многогранным процессом. Для получения положительных результатов необходимо учитывать не только технологические аспекты, но и человеческий фактор, финансовые условия, а также организационные и культурные особенности предприятия. Только комплексный подход позволит добиться желаемых результатов и обеспечить устойчивое развитие в условиях современного рынка. Очевидно, что роботизация позволит расширить узкие места, связанные с кадровым голодом, при правильном подходе повысит производительность и качество продукции, но потребует дополнительных капитальных затрат. В рассмотренном конкретном случае мы получили увеличение производительности на 18,7% при увеличении затрат на проект на 50%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муродуллаев, А.А. Влияние роботизации на состояние российского рынка труда / А. А. Муродуллаев // Конкурентоспособность территорий : Материалы XXI Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов. В 8-ми частях, Екатеринбург, 23–27 апреля 2018 года / Ответственные за выпуск Я.П. Силин, Е.Б. Дворякина. Том Часть 2. – Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2018. – С. 146-148. – EDN YSAGGT.
2. Абрамов, Д.С. Влияние роботизации на глобальный рынок труда / Д.С. Абрамов, Ю.А. Ермоленко // Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности (шифр - МКВСС) : Сборник материалов XXVII Международной научно-практической конференции, Москва, 10 июня 2024 года. – Москва: ООО «Издательство «Экономическое образование», 2024. – С. 603-607. – EDN WKUNGM.
3. Васина, М.В. Роботизация в России: проблемы и перспективы развития / М.В. Васина, Е.Р. Богатенко // Вестник Тульского филиала Финуниверситета. – 2020. – № 1. – С. 276-278. – EDN VUIMZA.
4. Бакунина, Т.А. Комплексная автоматизация производственных процессов в машиностроении / Т. А. Бакунина // Совершенствование методологии познания в целях развития науки: сборник статей Международной научно-практической конференции, Волгоград, 17 апреля 2019 года. Том Часть 2. – Волгоград: Общество с ограниченной ответственностью «ОМЕГА САЙНС», 2019. – С. 44-49. – EDN ZCQXFR.
5. Бурдаков, С.Ф. Управление вибрационным состоянием робота при силовом взаимодействии с шероховатой поверхностью неопределённого профиля / С.Ф. Бурдаков, Т.А. Байдина, О.Б. Шагниев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2016. – № 4(252). – С. 43-52. – DOI 10.5862/JCSTCS.252.4. – EDN XUYCLJ.
6. Вартанов, М.В. Роботизация отделочной обработки авиационных агрегатов / М.В. Вартанов, И.Н. Зинина, Д.О. Зотин, Д.С. Ненюк // Автоматизация и измерения в машино-приборостроении. – 2018. – № 2(2). – С. 12-18. – EDN YLQOLR.
7. Афонин, В.Л. Интеллектуальный робототехнический комплекс для финишной обработки проточной части лопаток газотурбинных двигателей / В.Л. Афонин, Ю.В. Илюхин, М.Г. Яковлев [и др.] // Вестник МГТУ «Станкин». – 2019. – № 3(50). – С. 49-56. – EDN HDROKR.
8. Алгоритмы поиска энергоэффективного положения комплекса траекторий движения промышленного робота в составе технологического процесса / М.А. Горькавый, А.Ю. Ефимов, В.П. Егорова, В.А. Соловьев // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2021. – Т. 64. – № 1. – С. 84-91. – DOI 10.17213/0136-3360-2021-1-84-91. – EDN PPFTQV.
9. Результаты проекта «Экспертно-аналитическое сопровождение государственной политики по развитию отрасли робототехники и станкоинструментальной промышленности» тематического плана научно-исследовательских работ, предусмотренных Государственным заданием НИУ ВШЭ. – URL: <https://issek.hse.ru/news/932892785.html> (дата обращения 14.12.2024)
10. Сергиевич, Т.В. Исследование опыта роботизации экономики Российской Федерации / Т. В. Сергиевич // Право. Экономика. Психология. – 2023. – № 1(29). – С. 53.

ON THE PREPARATION AND EFFICIENCY OF ROBOTICS IN MECHANICAL PROCESSING PRODUCTION

© 2025 V.Yu. Mefodiev, M.F. Safargaliev

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI, Kazan, Russia

Robotization in mechanical processing industries is one of the components of the fourth industrial revolution. The solution that allows increasing productivity and quality of products, expanding bottlenecks with personnel today firmly occupies a leading position in the list of available tools for the development of medium-scale mechanical processing industries around the world. The topic of robotization has also been actively developed at Russian enterprises in the mechanical engineering industry. Despite the annual increase in the number of implemented industrial robots, the criteria for the readiness of production systems for the implementation of such complexes have not been formulated. Like any specialized tool, robotic complexes have certain requirements for the level of the organization's production systems, including personnel training, technological discipline, technical equipment, implemented digital accounting and production analysis systems. The article considers three robotic complexes based on turning and milling machining centers used in the mechanical processing of parts in the aviation industry and components of electric centrifugal pumps. The actual performance results of these complexes turned out to be far from the design ones: deviation of actual performance from the design one, drop in the performance of the complex due to the features of the workpiece and the launch batch, drop in the productivity of the section due to the features of the equipment. Based on these examples, the objective need for an integrated approach is substantiated, which will allow achieving actual performance indicators in accordance with the planned ones. A checklist of objective requirements for the organization of production is formulated using the example of an implemented project for the introduction of an industrial manipulator in a turning section, which allows assessing the readiness of production systems. The possible increase in the productivity of a section of two lathes equipped with an industrial manipulator for changing workpieces is calculated. A conclusion is made based on the results of the theoretical analysis and calculations.

Keywords: production organization, modern solutions for increasing productivity, production process, industry 4.0, unmanned production.

DOI: 10.37313/1990-5378-2025-27-1-24-31

EDN: SNJIRA

REFERENCES

1. *Murodullaev, A.A.* Vliyanie robotizatsii na sostoyanie rossijskogo rynka truda / A. A. Murodullaev // Konkurentosposobnost' territorij : Materialy XXI Vserossijskogo ekonomicheskogo foruma molodyh uchenyh i studentov. V 8-mi chastyah, Ekaterinburg, 23–27 aprelya 2018 goda / Otvetstvennye za vypusk Ya.P. Silin, E.B. Dvoryadkina. Tom Chast' 2. – Ekaterinburg: Ural'skij gosudarstvennyj ekonomicheskij universitet, 2018. – S. 146-148. – EDN YSAGGT.
2. *Abramov, D.S.* Vliyanie robotizatsii na global'nyj rynek truda / D.S. Abramov, Yu.A. Ermolenko // Vyzovy sovremennosti i strategii razvitiya obshchestva v usloviyah novej real'nosti (shifr - MKVSS) : Sbornik materialov XXVII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Moskva, 10 iyunya 2024 goda. – Moskva: OOO «Izdatel'stvo «Ekonomicheskoe obrazovanie», 2024. – S. 603-607. – EDN WKUNGM.
3. *Vasina, M.V.* Robotizatsiya v Rossii: problemy i perspektivy razvitiya / M.V. Vasina, E.R. Bogatenko // Vestnik Tul'skogo filiala Finuniversiteta. – 2020. – № 1. – S. 276-278. – EDN VUIMZA.
4. *Bakunina, T.A.* Kompleksnaya avtomatizatsiya proizvodstvennyh processov v mashinostroenii / T. A. Bakunina // Sovershenstvovanie metodologii poznaniya v celyah razvitiya nauki: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Volgograd,, 17 aprelya 2019 goda. Tom Chast' 2. – Volgograd,: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «OMEGA SAJNS», 2019. – S. 44-49. – EDN ZCQXFR.
5. *Burdakov, S.F.* Upravlenie vibracionnym sostoyaniem robota pri silovom vzaimodejstvii s sferohovatoj poverhnost'yu neopredelyonnogo profilya / S. F. Burdakov, T. A. Bajdina, O. B. Shagniev // Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikacii. Upravlenie. – 2016. – № 4(252). – S. 43-52. – DOI 10.5862/ICSTCS.252.4. – EDN XUYCLJ.
6. *Vartanov, M.V.* Robotizatsiya otdelochnoj obrabotki aviacionnyh agregatov / M. V. Vartanov, I. N. Zinina, D. O. Zotin, D. S. Nenyuk // Avtomatizatsiya i izmereniya v mashino- priborostroenii. – 2018. – № 2(2). – S. 12-18. – EDN YLQOLR.
7. *Afonin, V.L.* Intellektual'nyj robototekhnicheskij kompleks dlya finishnoj obrabotki protochnoj chasti lopatok gazoturbinnnyh dvigatelej / V.L. Afonin, Yu.V. Ilyuhin, M.G. Yakovlev [i dr.] // Vestnik MGTU «Stankin». – 2019. – № 3(50). – S. 49-56. – EDN HDROKR.
8. Algoritmy poiska energoeffektivnogo polozheniya kompleksa traektorij dvizheniya promyshlennogo robota v sostave tekhnologicheskogo processa / M. A. Gor'kavyj, A. Yu. Efimov, V. P. Egorova, V. A. Solov'ev // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Elektromekhanika. – 2021. – T. 64, № 1. – S. 84-91. – DOI 10.17213/0136-3360-2021-1-84-91. – EDN PPFTQV.
9. Rezul'taty proekta «Ekspertno-analiticheskoe soprovozhdenie gosudarstvennoj politiki po razvitiyu otrasli robototekhniki i stankoinstrumental'noj promyshlennosti» tematicheskogo plana nauchno-issledovatel'skih rabot, predusmotrennyh Gosudarstvennym zadaniem NIU VShE. – URL: <https://issek.hse.ru/news/932892785.html> (data obrashcheniya 14.12.2024)
10. *Sergieevich, T.V.* Issledovanie opyta robotizatsii ekonomiki Rossijskoj Federacii / T. V. Sergieevich // Pravo. Ekonomika. Psihologiya. – 2023. – № 1(29). – S. 53