

ВЫСОКОСКОРОСТНАЯ СБОРКА ПРУЖИННЫХ КОМПОНЕНТОВ С СИСТЕМОЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАЗДЕЛЕНИЯ

Казаринова А.С., Липатов А.А., Мешков В.А., Астахов С.В.
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва

Ключевые слова: магнитное распутывание пружин, чашечный вибропитатель, ротационный стол, трехосевой манипулятор, соленоид, рабочая область манипулятора.

Аннотация. В данной работе представлено техническое решение для высокоскоростной автоматизированной сборки с использованием ротационной платформы, состоящей из двух поворотных столов. Рассмотрены принципы работы системы ориентации, сортировки и подачи компонентов с применением вибробункеров, трехэтапный инновационный механизм разделения вложенных и сплетенных пружин: магнитное распутывание, механическое разъединение, контроль качества по сопротивлению, система проверки герметичности изделия методом продувки и управление трехосевым роботом-манипулятором. Представлен анализ рабочей области манипулятора в виде полуокружности с применением стандартных параметров Денавита-Хартенберга. По результатам данного исследования определены ключевые параметры для обеспечения целевого цикла сборки одной детали в 17 секунд: временные характеристики операций, необходимая производительность вибробункеров, требуемые характеристики трехосевых манипуляторов и ротационных столов. На основе указанных параметров разработана система предварительной сортировки пружин, обеспечивающая заданную производительность за счет точной синхронизации технологических операций роботов-манипуляторов, протекающих на двух ротационных столах одновременно. Система предназначена для применения в производстве клапанов двигателей внутреннего сгорания, пневмогидравлических усилителей сцепления и пневматических распределителей, где предъявляются повышенные требования к скорости и надежности сборки.

HIGH-SPEED ASSEMBLY OF SPRING COMPONENTS WITH PRE-SEPARATION SYSTEM

Kazarinova A.S., Lipatov A.A., Meshkov V.A., Astakhov S.V.
National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow

Keywords: magnetic untangling of spring, cup vibrator, rotary table, three-axis manipulator, solenoid, manipulator workspace.

Abstract. This paper presents a technical solution for high-speed automated assembly using a rotary platform consisting of two rotary tables. It discusses the principles of operation of a system for orienting, sorting, and feeding components using vibrating hoppers, as well as a three-stage innovative mechanism for separating nested and intertwined springs: magnetic unraveling, mechanical separation, resistance quality control, a system for checking the tightness of the product using a purge test, and control of a three-axis robotic arm. The paper presents an analysis of the manipulator's working area in the form of a semicircle using standard Denavit-Hartenberg parameters. Based on this analysis, key parameters have been identified to ensure a target assembly cycle of 17 seconds for a single part, including the time requirements for operations, the necessary capacity of vibrating hoppers, and the required characteristics of three-axis robotic arms and rotary tables. Based on these parameters, a pre-sorting system for springs has been developed to achieve the desired performance by precisely synchronizing the robotic arm operations that occur simultaneously on two rotary tables. This system is designed for use in the production of valves for internal combustion engines, pneumatic hydraulic clutch amplifiers, and pneumatic distributors, where there are high demands for speed and reliability in assembly.

Введение

Перспективность автоматизации в современных условиях определяется необходимостью совмещения двух задач: внедрения технологических инноваций для удовлетворения динамичных рыночных потребностей и обеспечения экономической целесообразности их коммерциализации [1]. Реализация данных условий способствует развитию технических систем, повышая их адаптивность и конкурентоспособность. Данная тенденция диктует необходимость уделять особое внимание разработке новых конструкций, которые способны решить основные проблемы современного машиностроения: повышение

гибкости и оперативности используемых систем [2]. Однако реализация требуемой конструкции имеет существенные технические ограничения. Существующие сборочные линии не удовлетворяют в полной мере всем уровням автоматизации производства, ограничивая пропускную способность предприятий и качество выпускаемой продукции. Подобные ограничения имеют системный характер, поскольку заключаются в фундаментальных недостатках применяемых решений. Несовершенство сборочных линий объясняется жёсткостью их структуры и логики управления [3].

Одним из наиболее эффективных решений для высокоскоростной сборки является использование ротационных систем, которые обеспечивают параллельную обработку нескольких изделий на разных станциях. Под ротационной системой следует понимать поворотную платформу с приводом, обеспечивающую последовательное или непрерывное позиционирование заготовок, инструментов и сборочных модулей в автоматизированных производственных системах (рис. 1) (<https://termoformer.com/nakopitelnyj-stol/>).

В автоматических линиях ротационные столы обеспечивают непрерывное вращение с постоянной угловой скоростью, определяемой длительностью технологического цикла обработки детали.

Количество рабочих позиций на столе рассчитывается с учетом времени выполнения всех операций цикла, включая этапы загрузки заготовки и снятия готовой детали. Такая синхронизация процессов исключает простои оборудования и гарантирует стабильность такта производства.

Обзорный анализ исследований и разработок в области ротационных машин для малой энергетики мирового рынка показал, что в этом секторе машиностроения существующий уровень и масштабы производства не соответствуют требованиям реализации критических технологий [4].

Для задач, требующих высокой точности и работы в динамичной среде, такой как сборочная линия, необходимо сочетание качественного аппаратного и специализированного программного обеспечения, реализующего стабильную синхронизацию процессов. Данная система реализуется через интеграцию сенсоров и обратную связь в системе управления, что обеспечивает адаптацию роботов к отклонениям от заданных траекторий и повышает точность их взаимодействия с окружающей средой [5].

В рамках данной работы выполняется компоновка манипуляторов и расчет их характеристик для решения задачи разделения пружин. В связи с этим приведены основные расчеты кинематики манипуляторов. В статье [6] представлена кинематическая модель пятизвенного манипулятора для сферы услуг, построенная на основе метода Денавита–Хартенберга (ДХ). Данный подход позволяет однозначно описать взаимное расположение систем координат звеньев и суставов с помощью ДХ-параметров. Решены прямая и обратная задачи кинематики, что позволяет ориентировать выходное звено манипулятора вдоль заданной траектории с требуемой точностью.

Для решения задач о положении выходного звена манипулятора приводится описание модифицированного метода Денавита–Хантерберга в работе [7]. Показано, что в сравнении с классическим заданием систем координат (СК), где преобразования начинаются с оси OZ предыдущего звена, модифицированный метод (задание СК с оси OX текущего звена) существенно упрощается интерпретацию параметров для некоторых конфигураций манипуляторов при одних и тех же результатах описания прямой кинематики.

В статье [8] для реализации управления роботом манипулятором используется микроконтроллер Arduino Mini, расположенный во вращающейся части роботизированной

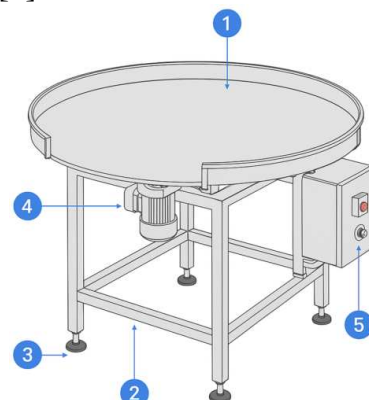


Рис. 1. 3D модель ротационного стола:
1) столешница, 2) рама из нержавеющей стали AISI 304, 3) опоры (ножки),
4) мотор-редуктор, 5) панель управления

системы. Снимаемый сигнал отправляется по беспроводному интерфейсу на стационарный контроллер, посылающий стоп-сигнал, отвечающий за прекращение определенной части программного движения робота.

Для обеспечения непрерывной работы автоматизированных манипуляторов и улучшения качества продукции предлагается использование системы предварительной сортировки деталей по качеству [9]. Далее в ходе технологического процесса роботом-сборщиком используются только отсортированные и проверенные на качество детали.

В работе [10] представлен обзор современных исследований в области технологий контроля качества, ориентированных на роботизированные производственные системы. Выявлены ключевые пробелы в исследованиях, а также проанализированы последствия внедрения систем контроля для эффективности и надежности роботизированных комплексов.

Следует отметить, что сложность задачи контроля качества металлических деталей, широко применяемых в машиностроении, связана с их высокой отражающей способностью [11]. Решение данного типа задач требует оптимизацию и обеспечение надежности методов повышения видимости дефектов.

Одними из видов небольших производственных деталей, которые встречаются наиболее часто в сборочной линии и требуют предварительной проверки качества, являются пружины. Перед началом сборки необходимо обеспечение предварительного разделения сплетенных пружин между собой для увеличения производительности сборки.

Для решения задачи разделения спутанных пружин применяется автоматизированная система подачи Simco (<https://www.simco.com/future-of-feeder-systems-in-spring-processing>), которая представляет собой модульное решение, оснащенное интегрированными датчиками и управляющими органами. Основной принцип функционирования системы основан на использовании вибрационного устройства, обеспечивающего транспортировку и ориентацию пружин в периферийном лотке. В случае обнаружения переплетений пружин используется эксцентриковый рассеивающий механизм, который за счёт контролируемого динамического воздействия обеспечивает эффективное разъединение зацеплённых элементов и восстановление устойчивого процесса подачи.

Предполагаемым результатом работы является техническое решение, ориентированное на достижение производительности сборки одной детали с пружиной. Описание системы охватывает все основные компоненты конструкции: от подачи и ориентации компонентов до их установки.

Целью работы является описание комплексной технической сборочной линии с целью расчета её производительности и определение состава необходимого оборудования. Для достижения данной цели ставится задача компьютерного моделирования сборочного процесса пружинных компонентов, определение механизма разделения спутанных пружин и проверки герметичности готового изделия, расчёт производительности сборки одной единицы продукта, определение требований к технологическому оборудованию и описание основных уравнений кинематики робота-манипулятора.

Материалы и методы исследований. Проведение моделирования и расчета технического процесса сборки состоит из нескольких этапов:

1. Построение трехмерной модели технического оборудования и линии сборки (рис. 2) в системе автоматического проектирования *SolidWorks*.
2. Проведение расчета допустимого значения времени проведения составляющих операций сборки.
3. На основе расчётов производительности и динамических характеристик подбор моделей оборудования сборочной линии.

Для описания процесса сборки пружинных компонентов с системой предварительного разделения необходимо произвести трехмерное моделирование технического оборудования и их расположение относительно друг друга в сборочной линии.

Для оптимизации технологического процесса представленная система основана на двух ротационных столах. Стол №1 обеспечивает сборку корпуса с цангой, мембраной и

пружиной, стол №2 – сборка цангой и резиновым кольцом. Сборка детали завершается переносом крышки с ротационного стола №2 на стол №1. Процесс сборки пружинного компонента завершается проверкой качества: продувом детали. Работа стола №1 синхронизирована с производительностью стола №2. Разница продолжительности одного цикла работ каждого стола соотносится за счет времени заключительного этапа сборки: перенос крышки со стола №2 на стол №1.

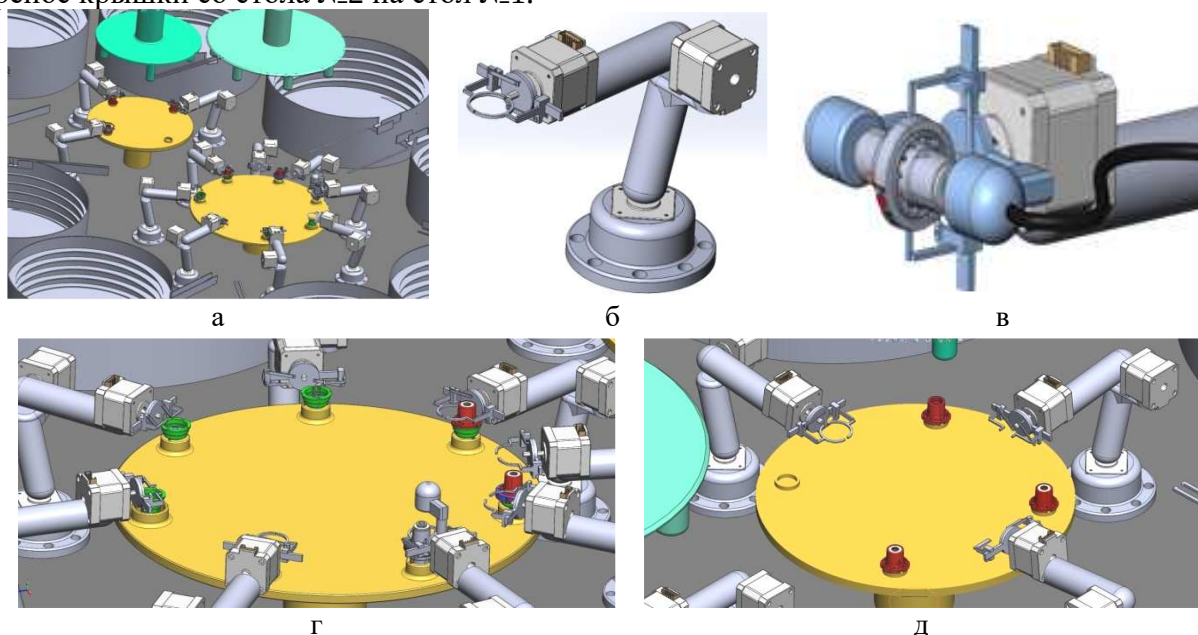


Рис. 2. 3D-модель сборочной линии пружинных компонентов в САПР Solidworks Simulation: а) сборочная линия; б) робот-манипулятор, в) устройство проверки герметичности детали (продувка), г) захваты манипуляторов в соответствии с этапами сборки, стол №1, д) захваты манипуляторов в соответствии с этапами сборки, стол №2

Для каждой детали (корпус, цанга, мембрана, пружина, крышка, резинка) используется отдельный вибробункер. Использование данного оборудования обеспечивает быструю замену чаш и направляющих, что напрямую влияет на универсальность технологического решения и его быструю адаптацию под различные приборы. Одним из способов синхронизации циклов работ виброустановок и трехосевых манипуляторов является использование контроллеров, которые позволяют обеспечить точную настройку амплитуды и частоты колебаний вибробункеров (https://www.ntnglobal.com/en/products/manual/pdf/NTN-BowlFeeder_N25N32N40_E.pdf).

В качестве варианта используемого робота-манипулятора был предложен трехосевой манипулятор, 3D модель которого построена в САПР Solidworks Simulation (рис. 2, б). Данное автоматизированное устройство предназначено для сборки и установки компонентов с определенной повторяемостью. Компактный размер манипулятора позволяет располагать робота и объекты вокруг него с достаточной близостью, что позволяет уменьшить площадь производства и сократить время цикла. Данная конфигурация манипулятора включает в себя 3 вращательных шарнира.

Для построения кинематической модели рассматриваемого манипулятора используем параметры Денавита–Хартенберга (табл. 1):

$$\theta_i = \angle(x_{i-1}, x_i), \quad d_i = pr_{z_{i-1}} o_{i-1}, o_i, \quad a_i = pr_{x_i} o_{i-1}, o_i, \quad \alpha_i = \angle(z_{i-1}, z_i).$$

Табл. 1. Параметры Денавита-Хартенберга

i	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	l_1	0	90°
2	θ_2	0	l_2	90°
3	θ_3	0	0	0°

Матрица однородного преобразования, связывающего вектора однородных координат на смежные системы координат, имеет вид:

$$T_{i-1,i} = T_{\theta_i} \cdot T_{d_i} \cdot T_{a_i} \cdot T_{\alpha_i} = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i c\alpha_i & s\theta_i s\alpha_i & a_i c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i c\alpha_i & -c\theta_i s\alpha_i & a_i s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где T_{θ_i} – матрица однородного преобразования, соответствующая повороту системы координат вокруг оси z_i на угол θ_i ; T_{d_i} – матрица однородного преобразования, соответствующая переносу системы координат вдоль оси z_{i-1} на расстояние d_i ; T_{a_i} – матрица однородного преобразования, соответствующая переносу системы координат вдоль оси x_i на расстояние a_i ; T_{α_i} – матрица однородного преобразования, соответствующая повороту системы координат вокруг оси x_i на угол α_i .

Матрица однородного преобразования для схвата манипулятора в неподвижной системе координат определяется последовательным перемножением матриц однородных преобразований всех смежных звеньев:

$$T_3 = T_{01} T_{12} T_{23}, \quad (2)$$

где T_{01} – матрица однородного преобразования, связывающая системы координат 1-го звена с неподвижным основанием; T_{12} – матрица однородного преобразования, связывающая системы координат 1-го и 2-го звеньев, T_{23} – матрица однородного преобразования, связывающая системы координат 2-го звена и схвата (выходного звена) манипулятора.

Последний столбец матрицы содержит информацию о проекциях радиус-вектора схвата манипулятора на неподвижные оси и для рассматриваемого манипулятора имеет вид:

$$r_A = \begin{bmatrix} l_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 \\ l_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2 \\ l_1 + l_2 \sin \theta_2 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $l_1 = 0,118$ м – длина первого звена манипулятора; $l_2 = 0,137$ м – длина второго звена манипулятора; $\theta_1 \in [0^\circ; 360^\circ]$ – первая обобщенная координата; $\theta_2 \in [0^\circ; 180^\circ]$ – вторая обобщенная координата.

Полученные выражения для радиус-вектора схвата манипулятора позволяют проводить анализ его рабочей области и применять его в программном обеспечении Wolfram Mathematica для управления движением робота-манипулятора (рис. 3).

Траектория выходного звена представляет собой полуокружность, определяемой начальным и конечным положением переносимых деталей и использованием данной кинематической схемы.

Конструкция трехосевого манипулятора разработана с использованием шагового двигателя NEMA 17, технические характеристики которого соответствуют следующим параметрам:

- 1) номинальное напряжение питания: 48 В;
- 2) номинальный ток: 2 А;
- 3) номинальная угловая скорость выходного вала: 20 об/с.

Значение линейной скорости выходного звена линейно зависит от конструктивных параметров двигателя NEMA 17 – радиуса вала r :

$$V = \omega \cdot 2 \cdot \pi \cdot r = 20 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,0025 = 0,314 \text{ м/с}, \quad (4)$$

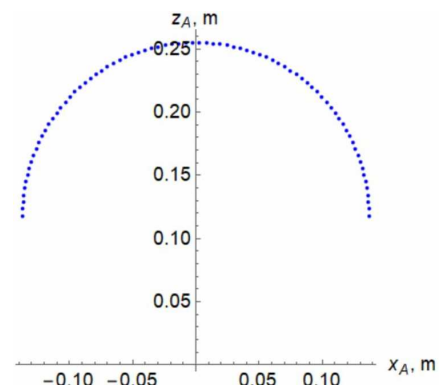


Рис. 3. График рабочей области трехосевого манипулятора в программе Wolfram Mathematica при $\theta_1 = 0$

где $\omega = 20$ об/с – угловая скорость шагового двигателя; $r = 0,0025$ м – радиус выходного вала двигателя NEMA 17.

Длительность технологической операции, включающей в себя подачу, захват и установку сборочной единицы определяется длиной траектории, по которой необходимо перемещать заготовки, и скоростью выходного звена манипулятора:

$$t = \frac{\pi \cdot R}{V} = \frac{\pi \cdot 0,15}{0,314} = 1,501 \text{ с}, \quad (5)$$

где $R = 0,15$ м – радиус траектории выходного звена манипулятора; V – линейная скорость схвата манипулятора в данной кинематической конфигурации.

Механизм разделения вложенных и сплетенных пружин состоит из трех основных этапов (рис. 4):

1. Магнитное распутывание: два электромагнита растягивают и разделяют соединенные пружины за время:

$$t_{\text{colid}} = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot s}{F}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,1 \cdot 0,0085}{10}} = 0,013 \text{ с}, \quad (6)$$

где $m = 0,1$ кг – масса электромагнита; $s = 0,0085$ м – расстояние между парой магнитов; $F = 10$ Н – сила притяжения пружины соленоидом.

2. Механическое разъединение: при неэффективности магнитного воздействия используются вращающиеся ролики, создающие крутящий момент раскручивания сплетенных пружин между собой;

3. Контроль качества: после разделения измеряется электрическое сопротивление пружины. Если значение не совпадает с эталонным (равным сопротивлению одной пружины), то деталь возвращается в вибробункер для последующего повторного прохождения механизма разделения. Использование высокоточных мультиметров Keithley DMM7510-900-01R (<https://amisgr.ru/wp-content/uploads/2023/06/dmm7510-manual-rus.pdf>) позволяет проводить измерения за 1 мс.

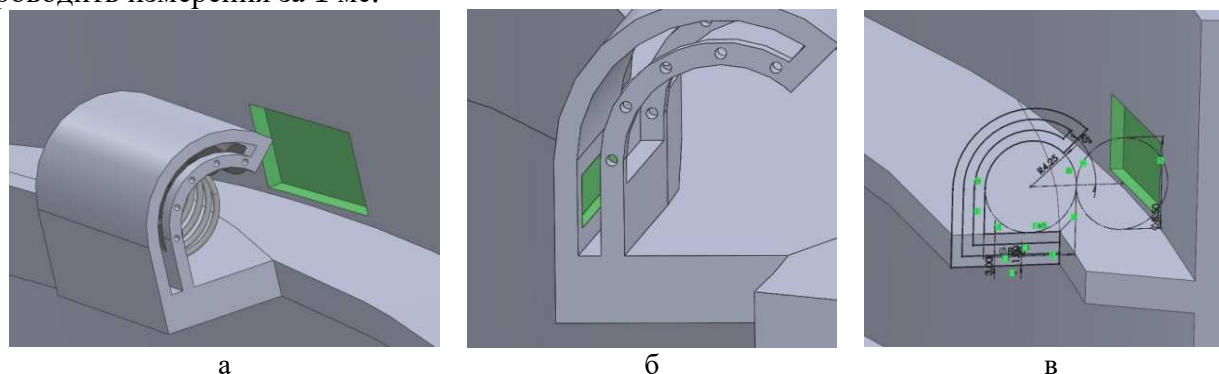


Рис. 4. 3D-модель механизма разделения вложенных и сплетенных пружин в САПР Solidworks Simulation: а) конструкционные особенности механизма, б) магниты (зеленые области), в) работа механизма

Для достижения производительности сборки одной детали с пружиной в составе в 17 секунд приведен временной расчет всего сборочного процесса (табл. 2). Общее время работы каждого ротационного стола за один цикл работы по отдельности рассчитывается как сумма продолжительности всех технологических процессов соответственно:

$$t_{\text{table}_i} = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (7)$$

где t_i – время i -ой итерации ротационного стола, с; n – общее количество технических процессов на каждом столе;

$$t_{\text{table}_1} = \sum_{i=1}^6 (1,501 + 1,501 + 1,501 + 0,013 + 1,501 + 0,013) = 6,032 \text{ с};$$

$$t_{table_2} = \sum_{i=1}^3 (1,501 + 1,501 + 1,501) = 4,503 \text{ с.}$$

Для обеспечения непрерывности работы сборочной линии время работы Стола №1 и Стол №2 соотносится переносом крышки сборочной единицы:

$$t_{авт} = t_{table_1} - t_{table_2} = 6,032 - 4,503 = 1,529 \text{ с,} \quad (8)$$

где t_{table_1} – длительность одного цикла работ Стола №1, с; t_{table_2} – длительность одного цикла работ Стола №2, с.

Табл. 2. Временной расчет технического процесса

Этап сборки	Технический процесс	Время, с
Стол №1: Сборка корпуса	Подача корпуса, захват, установка	1,501
	Подача цанг, захват, установка	1,501
	Подача мембраны, захват, установка	1,501
	Вставление мембраны за счет магнитного поля	0,013
	Подача пружины, захват, установка	1,501
	Вставление пружины за счет магнитного поля	0,013
Время работы стола №1		6,032
Стол №2: Сборка крышки	Подача крышки, захват, установка	1,501
	Подача цанг, захват, установка	1,501
	Подача резинки, захват, установка	1,501
Время работы стола №2		4,503
Заключительны й этап	Перенос крышки со Стола №2 на Стол №1	1,529
	Подача хомутов, захват, установка	1,501
	Проверка собранного изделия на герметичность и продувка (ГОСТ 20,57,406-81)	10,000
Итог		17,533

Результаты

Основные временные затраты определены работой роботов-манипуляторов. Требуется подборка высокоскоростных моделей с повторяемостью позиционирования не хуже 0,1 мм. Для обеспечения общей длительности сборки необходимо использование ротационных столов со временем переключения не более 17 с. Для этого рекомендуется использование серводвигателей и учет массы деталей на оснастке.

Выводы

По результатам временных расчетов и конструкционных представлений для реализации предполагаемой детали видно, что инновационный механизм разделения пружин, сочетающий магнитное и механическое воздействие с контролем качества по сопротивлению, является ключевым элементом, потенциально улучшающим качество итоговой продукции.

Для обеспечения цикла в 17 секунд необходимо проведения детального инженерного расчета инерционных характеристик системы для подбора ротационных столов под определенный вид приборов.

Полученное техническое решение может быть использовано для сборки пружинных компонентов с автоматическим разъединением вложенных и сплетенных пружин.

Заключение

В данной работе проведен комплексный анализ технического решения для высокоскоростной автоматизированной сборки. Были рассмотрены конфигурация технического оборудования и контроль качества за счет продува готового изделия.

Определены временные параметры линии сборки. Полученные результаты могут быть использованы для проектирования и внедрения высокопроизводительных сборочных линий в различных отраслях промышленности.

Список литературы / References

1. Li S., Gao D., Ren Y., Qin G. Real-time data-driven synchronous reconfiguration of human-centric smart assembly cell line under graduation intelligent manufacturing system // Journal of Manufacturing Systems. 2022, vol. 65, pp. 378-390. DOI: 10.1016/j.jmsy.2022.09.022.
2. Урунов А.М. Важность и перспективы автоматизации производства в машиностроении // Universum: технические науки: электронный научный журнал. – 2025. – №5(134). – С. 51-53. – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/19951>.
2. Urunov A. M. The importance and prospects of production automation in mechanical engineering // Universum: Technical Sciences: Electronic Scientific Journal. 2025, no. 5(134), pp. 51-53. URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/19951>.
3. Kousi N., Gkournelos C., Aivaliotis S., Lotsaris K., Bavelos A.C., Baris P., Michalos G., Makris S. Digital Twin for Designing and Reconfiguring Human–Robot Collaborative Assembly Lines // Applied Sciences. 2021, vol. 11, no. 10, p. 4620. DOI:10.3390/app11104620.
4. Юша В.Л., Громов А.Ю., Потапов Ю.А. Анализ перспективных направлений создания отечественной компонентной базы ротационных машин объемного действия для малой энергетики, холодильной и климатической техники // Омский научный вестник. Серия: Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2022. – Т. 6, №4. – С. 9-25. – DOI: 10.25206/2588-0373-2022-6-4-9-25.
4. Yusha V.L., Gromov A.Yu., Potapov Yu.A. Analysis of Promising Directions for Creating a Domestic Component Base for Rotary Volumetric Machines for Small-Scale Power Generation, Refrigeration, and Climate Control // Omsk Scientific Bulletin. Series: Aviation, Rocket, and Power Engineering. 2022, vol. 6, no. 4, pp. 9-25. DOI: 10.25206/2588-0373-2022-6-4-9-25.
5. Wang B.-J., Liu T.-W. Automatic assembly with dual robotic arms based on mutual visual tracking and positioning // Science Progress. 2023, vol. 106, no 2, pp. 1-24. DOI: 10.1177/00368504231172667.
6. Han H. Modeling and Simulation for a Five DOF Robotic Arm Manipulator // Highlights in Science, Engineering and Technology. 2023, vol. 43, pp. 300-307. DOI: 10.54097/hset.v43i.7433.
7. Shin M., Cho Y. Algorithmic Modified Denavit–Hartenberg Modeling for Robotic Manipulators Using Line Geometry // Applied Sciences. 2025, vol. 15, pp. 1-29. DOI: 10.3390/app15094999.
8. Пикалов Я.Ю., Штабель Н.В., Брунгардт М.В., Ткачёв С.Б. Автоматизированная сборка изделий роботоманипулятором с динамометрическим контролем процесса затягивания винтовых соединений // iPolytech Journal. – 2023. – №27(4). – С. 664-681. – DOI: 10.21285/1814-3520-2023-4-664-681.
9. Amení c., Raef C., Yacine Y. Automating quality control: Real-Time defect detention and automated decision-making with AI and DOOSAN robotics // ResearchSquare. 2024, pp. 1-24. DOI: 10.21203/rs.3.rs-4823989/v1.
10. Papavasileiou A., Michalos G., Makris S. Quality control in manufacturing – review and challenges on robotic applications // International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2025, vol. 38, pp. 79-115. DOI: 10.1080/0951192X.2024.2314789.
11. Neves R., Dias C., Gomes D., Santos T., Moreira R., Ferreira M., Fernandes V., Fernandes L. Automated optical system for quality inspection on reflective parts // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2025, vol. 137, pp. 2665-2680. DOI: 10.1007/s00170-025-15309-0.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Казаринова Анастасия Сергеевна – студентка	Kazarinova Anastasia Sergeevna – student
Липатов Александр Алексеевич – студент	Lipatov Aleksandr Alekseevich – student
Мешков Вячеслав Александрович – студент	Meshkov Vyacheslav Aleksandrovich – student
Астахов Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин	Astakhov Sergey Vladimirovich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of robotics, mechatronics, dynamics and strength of machines
nastyusha.kazarinova@mail.ru	

Получена 13.01.2026