

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизация и управление

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Қисапова Аружан Қайратқызы

Разработка роботизированной системы на основе автоматизации выбора промышленного
робота

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизация и управление



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

На тему: «Разработка роботизированной системы на основе автоматизации выбора
промышленного робота»

6В07103 – Автоматизация и роботизация

Выполнила

Қисапова А.Қ.

Рецензент

Доктор PhD, доцент
Иманбекова Ұ.Н.
«1» июня 2023 г.

Научный руководитель

д.т.н., ассоц. профессор
Байбатшаев М.Ш.
«29» мая 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Каззахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизация и управление

6B07103 – Автоматизация и роботизация



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Кисаповой А. К

Тема: “Разработка роботизированной системы на основе автоматизации выбора промышленного робота”

Утверждена приказом Б. Жаутикова № 408-П/О от «23» ноября 2023 г.

Срок сдачи законченной работы « 15 » мая 2023 г.

Исходные данные к дипломному проекту: технические характеристики серийных роботоманипуляторов. Булева функция.

Краткое содержание дипломного проекта:

- а) Разработка математического алгоритма по рабочей поверхности;
- б) Построение математической модели сети Петри.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): функциональная схема автоматизации робота-манипулятора, компоновочная схема автоматизированной сборки беспроводной мыши.

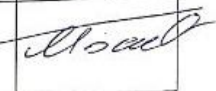
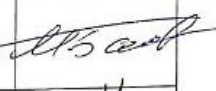

Рекомендуемая основная литература:

- 1 Murata, Tadao. Petri nets: Properties, analysis and applications. Proceedings of the IEEE, 77(4), 1989, pp. 541 – 580.;
- 2 Хомченко В.Г. Робототехнические системы: учебное пособие. М.: Издательство Омск 2016. – 195 с.

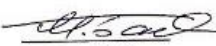
ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологический раздел	7.03.2023г.	
Специальный раздел	15.04.2023г.	


Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	М.Ш. Байбатшаев д.т.н., ассоциированный профессор	22.05.23	
Специальный раздел	М.Ш. Байбатшаев д.т.н., ассоциированный профессор	22.05.23	
Нормоконтролер	Э.Ж. Жанабаева маг. техн. наук, ассистент	25.05.23	

Научный руководитель

 Байбатшаев М. Ш.

Задание принял к исполнению обучающийся

 Қисапова А. Қ.

Дата

« 25 » 05 2023 г.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жоба өнеркәсіптік роботты таңдауды автоматтандыруға негізделген роботтық жүйені дамытуға арналған. Жобада құрастыру тапсырмасын орындау үшін әртүрлі компаниялардан робот-манипуляторларды таңдау қарастырылды. Роботтарды салыстыру параметрі ретінде жұмыс аймағы болды, өйткені бұл сипаттама роботты таңдау кезінде маңызды. Негізгі міндет құрастыру мен жұмыс аймағының талаптарына байланысты өнеркәсіптік роботты таңдау мен конфигурациялауды автоматтандыратын математикалық алгоритм құру болды. Алгоритмді құру үшін жиындар теориясы мен графиктер теориясының әдістері қолданылды. Сондай-ақ Петри желісінің математикалық моделі жасалды, оны роботтық жүйенің өнімділігін талдау және оның жұмысын оңтайландыру үшін пайдалануға болады. Жобаның нәтижелері өндірістік процестерді автоматтандыруды қажет ететін әртүрлі тапсырмаларды орындау үшін роботты жүйелерді әзірлеуде пайдаланылуы мүмкін. Сонымен қатар, бұл жоба өнеркәсіптік автоматтандыру саласындағы мамандар үшін де, робототехника технологияларын оқитын студенттер мен оқытушылар үшін де пайдалы болуы мүмкін.

АННОТАЦИЯ

Данный дипломный проект посвящен разработке роботизированной системы на основе автоматизации выбора промышленного робота. В проекте была рассмотрена выборка из разных компаний роботов-манипуляторов для применения в задаче сборки. Параметром сравнения роботов была рабочая зона, так как данная характеристика является важной при выборе робота. Основной задачей было создание математического алгоритма, который позволит автоматизировать выбор и настройку промышленного робота в зависимости от требований сборки и рабочей зоны. Использовались методы теории множеств и теории графов для построения алгоритма. Также была разработана математическая модель сети Петри, которую можно использовать для анализа производительности роботизированной системы и оптимизации ее работы. Результаты проекта могут быть использованы при разработке роботизированных систем для различных задач, которые требуют автоматизации производственных процессов. Кроме того, данный проект может быть полезен как для специалистов в области автоматизации производства, так и для студентов и преподавателей, изучающих технологии робототехники.

ANNOTATION

This graduation project is devoted to the development of a robotic system based on the automation of the choice of an industrial robot. The project considered a selection of robotic manipulators from different companies for use in the assembly task. The parameter for comparing robots was the working area, since this characteristic is important when choosing a robot. The main task was to create a mathematical algorithm that will automate the selection and configuration of an industrial robot, depending on the requirements of the assembly and the working area. The methods of set theory and graph theory were used to construct the algorithm. A mathematical model of the Petri net was also developed, which can be used to analyze the performance of the robotic system and optimize its operation. The results of the project can be used in the development of robotic systems for various tasks that require automation of production processes. In addition, this project can be useful both for specialists in the field of industrial automation, and for students and teachers studying robotics technologies.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Теоретические основы и анализ промышленных роботов	9
1.1 Основные понятия и определения	9
1.2 Выбор базы промышленных роботов	9
1.3 Технические характеристики промышленных роботов	11
2 Описание рабочих пространств манипуляционных роботов	13
2.1 Классификация степеней подвижностей робота	13
2.2 Прямоугольная система координат	14
2.3 Цилиндрическая система координат	16
2.4 Сферическая система координат	18
3 Математический алгоритм для выбора оптимального робота	21
3.1 Разработка математического алгоритма	21
3.2 Расчет Булевой функции рабочей зоны робота	23
4 Выбор оптимального робота и математическая модель	25
4.1 Результаты расчетов и выбор оптимального робота	25
4.2 Составление математической модели по сети Петри	26
5 Описание робота и разработка роботизированной системы	29
5.1 Описание выбранного оптимального робота	29
5.2 Функциональная схема автоматизации робота и спецификация	30
Заключение	34
Список использованной литературы	35
Приложение А	36
Приложение Б	37
Приложение В	38

ВВЕДЕНИЕ

Робототехника является одной из наиболее быстро развивающихся областей современной промышленности. Промышленные роботы позволяют повышать производительность, качество и безопасность производственных процессов.

При разработке роботизированных систем возникает вопрос выбора подходящего промышленного робота, учитывая специфические требования и характеристики проекта. Процесс выбора робота может быть длительным и сложным, особенно если необходимо сравнить множество моделей и производителей.

В рамках этой задачи можно использовать автоматизацию выбора промышленного робота, что поможет уменьшить время, затрачиваемое на поиск наиболее подходящего варианта. Использование подобных систем повышает эффективность работы в области робототехники, так как она позволяет сократить риски при выборе робота и увеличить точность конечного результата.

Разработка роботизированной системы на основе автоматизации выбора промышленного робота, которая упростит процесс выбора робота, учитывая требования и характеристики проекта.

В современном мире автоматизация становится все более и более популярной, сокращая время выполнения задач и повышая эффективность производственных процессов. В частности, робототехника – это одна из наиболее быстро развивающихся областей, где каждый год появляются все более продвинутые технологии.

Одним из ключевых аспектов разработки роботизированных систем является правильный выбор промышленного робота, который будет использоваться в конкретной задаче. Существует множество параметров, которые нужно учитывать при выборе робота, таких как максимальная нагрузка, радиус действия, скорость и многие другие. Выбор необходимого робота может быть сложным процессом, особенно в случаях, когда задача требует использования нескольких роботов.

Разработка роботизированной системы на основе автоматизации выбора промышленного робота позволяет значительно упростить этот процесс. Это может быть достигнуто путем создания компьютерной программы, которая будет учитывать все необходимые параметры и оптимально выбирать соответствующий робот для каждой задачи. Такая система может значительно повысить эффективность производства и уменьшить количество ошибок, связанных с выбором не подходящего робота.

Однако, разработка такой системы требует определенных затрат на исследование и анализ данных. Также необходимо учитывать, что автоматизация выбора робота не может заменить полностью человеческий фактор, особенно в случаях, когда требуется творческий подход или учет нестандартных условий. Поэтому правильное сочетание использования автоматизированных систем и

человеческих специалистов является важным аспектом в создании успешных роботизированных систем.

Разработка роботизированной системы на основе автоматизации выбора промышленного робота – это процесс комплексной работы над созданием программного обеспечения, которое позволяет автоматизировать процесс выбора промышленного робота для конкретной задачи производства.

Современные производственные процессы все больше автоматизируются, что позволяет повысить эффективность и качество производства, снизить затраты на оплату труда и уменьшить количество ошибок, допущенных человеком. Одним из ключевых элементов автоматизации являются промышленные роботы, которые выполняют различные операции на производственной линии.

Однако выбор оптимального робота для конкретной задачи может быть сложным и требует определенных знаний и опыта. В этой связи, разработка роботизированной системы на основе автоматизации выбора промышленного робота является актуальной темой, которая позволит упростить и ускорить процесс выбора робота, а также повысить точность и качество выбора.

Такая система может быть полезна для различных отраслей промышленности, включая автомобильную, электронную, металлургическую и другие. Она позволит сократить время на выбор робота, снизить затраты на его приобретение и обслуживание, а также повысить эффективность производственных процессов.

Таким образом, разработка роботизированной системы на основе автоматизации выбора промышленного робота является значимым исследованием, которое может привести к улучшению производственных процессов и повышению конкурентоспособности предприятий.

1 Теоретические основы и анализ промышленных роботов

1.1 Основные понятия и определения

Промышленный робот – это программируемое устройство, предназначенное для выполнения различных задач в производственных процессах. Он может быть использован для перемещения, сборки, сварки, резки, покраски и других операций.

При выборе промышленного робота необходимо учитывать следующие параметры:

- Грузоподъемность – максимальный вес, который может поднимать робот;
- Радиус действия – максимальное расстояние, на которое может вытянуться робот;
- Точность – способность робота выполнять задачи с высокой точностью;
- Скорость – скорость выполнения задач;
- Гибкость – способность робота адаптироваться к различным задачам;
- Надежность – способность робота работать без сбоев и поломок.

Существуют различные решения в области автоматизации выбора роботов-манипуляторов. Некоторые из них включают в себя использование алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта для анализа данных и выбора наиболее подходящего робота для конкретной задачи. Другие решения предоставляют базы данных роботов с подробными характеристиками, которые могут быть использованы для выбора наиболее подходящего робота.

1.2 Выбор базы промышленных роботов

Выбор базы промышленных роботов является одним из самых важных этапов при подготовке к автоматизации производственных процессов. Надежность, точность, гибкость и скорость – основные факторы, определяющие выбор базы роботов-манипуляторов. В дипломной работе рассмотрены четыре известных базы роботов-манипуляторов: KUKA KR 3 R540, Universal Robots UR10e, ABB IRB 2400 и FANUC LR Mate 200iD/4S.

KUKA KR 3 R540 представляет собой мощный робот-манипулятор, показанный на рисунке 1 и обладающий небольшими габаритами. Он имеет рабочую область радиусом 541 мм и подходит для выполнения различных задач со средними грузами, таких как сборка изделий, обработка материалов и измерение изделий в производственных условиях. Этот робот-манипулятор обладает высокой точностью и гибкостью, что делает его хорошим выбором для производства мелких и средних изделий.



Рисунок 1 – Манипуляционный робот KUKA KR 3 R540

Universal Robots UR10e является одним из наиболее популярных роботов-манипуляторов на сегодняшний день и изображен на рисунке 2. Он имеет рабочую область в 1300 мм и применяется для выполнения широкого спектра задач, таких как сборка, пакетирование, сварка, распределение материалов и сортировка. Universal Robots UR10e обладает отличной гибкостью и позволяет быстро ориентироваться в новых задачах, что делает его идеальным выбором для малых и средних предприятий.



Рисунок 2 – Робот Universal Robots UR10e

ABB IRB 2400 – это надежный и гибкий робот-манипулятор, который может выполнять различные задачи производства и сборки. Его рабочая область радиусом 1800 мм и он специально разработан для работы с тяжелыми и неукладываемыми изделиями. Он обладает высокой точностью, быстродействием и гибкостью, что делает его идеальным выбором для производства крупногабаритных изделий, таких как транспортные средства, мебель и прочие элементы оборудования. Робот-манипулятор показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Робот ABB IRB 2400

FANUC LR Mate 200iD/4S – это компактный и высокотехнологичный робот-манипулятор, показанный на рисунке 4. Он имеет рабочую область радиусом 704 мм и может выполнять различные задачи, такие как сборка и обработка мелких компонентов. Он обладает высоким уровнем точности, гибкости и быстродействия, что делает его идеальным выбором для производства товаров повседневного спроса, электроники и других предметов домашнего использования.



Рисунок 4 – Робот FANUC LR Mate 200iD/4S

В итоге, выбор базы промышленных роботов должен быть основан на типе производственных задач и характеристиках роботов-манипуляторов, таких как рабочая область, грузоподъемность, точность и гибкость. KUKA KR 3 R540, Universal Robots UR10e, ABB IRB 2400 и FANUC LR Mate 200iD/4S – четыре отличных примера баз промышленных роботов-манипуляторов, которые можно применять в различных областях производства.

1.3 Технические характеристики промышленных роботов

Технические характеристики роботов-манипуляторов являются важными параметрами, которые помогают определить возможности и способности робота. Они необходимы для выбора подходящего робота под конкретную задачу и помогают оценить его производительность, надежность и эффективность. На основании технических характеристик можно сравнить различные модели и производителей роботов-манипуляторов, выбрать наиболее подходящую базу для конкретной задачи. В таблице 1 приведены технические характеристики выбранных роботов-манипуляторов.

Таблица 1 – Технические характеристики роботов-манипуляторов

Модель	KUKA KR 3 R540	Universal Robots UR10e	ABB IRB 2400	FANUC LR Mate 200iD/4S
Количество Осей	6	6	6	6
Грузоподъёмность	3 кг	10 кг	15 кг	4 кг
Радиус действия	541 мм	1300 мм	1800 мм	704 мм
Повторяемость	0,03 мм	0,05 мм	0,05 мм	0,02 мм
Потребляемая мощность	0,8 кВт	0,35 кВт	1,31 кВт	0,58 кВт
Подключение	50/60 Гц, однофазн.	50/60 Гц, однофазн.	50/60 Гц, однофазн.	50/60 Гц, однофазн.
Монтажное положение	на полу, на стене, под углом	на полу, на потолке	на полу, на стене, под углом	напольный монтаж
Вес	51 кг	33,5 кг	380 кг	25 кг
Система управления	KRC4 compact	Polyscope	S4C+	FANUC R-30iB
Момент	6 Нм	28 Нм	255 Нм	3,48 Нм
Диапазон перемещения	ось 1: $\pm 185^\circ$, ось 2: $+155^\circ/-90^\circ$, ось 3: $+135^\circ/-85^\circ$, ось 4: $\pm 350^\circ$, ось 5: $\pm 130^\circ$, ось 6: $\pm 350^\circ$	ось 1: 360° , ось 2: 155° , ось 3: 160° , ось 4: 360° , ось 5: 125° , ось 6: 360°	ось 1: 170° , ось 2: 150° , оси 3, 4, 5, 6: неограниченный	ось 1: $+190^\circ/-170^\circ$, ось 2: $+145^\circ/-180^\circ$, ось 3: $\pm 135^\circ$, ось 4: $\pm 190^\circ$, ось 5: $\pm 125^\circ$, ось 6: $\pm 360^\circ$
Максимальная скорость	ось 1: $180^\circ/\text{с}$, ось 2: $180^\circ/\text{с}$, ось 3: $180^\circ/\text{с}$, ось 4: $360^\circ/\text{с}$, ось 5: $360^\circ/\text{с}$, ось 6: $450^\circ/\text{с}$	ось 1, 2, 3: $180^\circ/\text{с}$, ось 4, 5, 6: $360^\circ/\text{с}$	ось 1: $100^\circ/\text{с}$, ось 2: $90^\circ/\text{с}$, оси 3, 4, 5, 6: $180^\circ/\text{с}$	ось 1: $480^\circ/\text{с}$, ось 2: $480^\circ/\text{с}$, ось 3: $610^\circ/\text{с}$, ось 4: $900^\circ/\text{с}$, ось 5: $900^\circ/\text{с}$, ось 6: $1440^\circ/\text{с}$

2 Описание рабочих пространств манипуляционных роботов

2.1 Классификация степеней подвижностей робота

Манипуляционный робот – это многофункциональный робот, предназначенный для осуществления манипуляций различной сложности. Он состоит из нескольких частей, которые обеспечивают его работу.

Рабочее пространство манипуляционного робота определяется его геометрическими параметрами, а именно: длиной его конечностей и их радиусом. Робот может перемещаться вокруг основания и управляться таким образом, чтобы выполнить задачу, предъявленную ему оператором.

Рабочее пространство манипуляционного робота включает в себя электронные узлы, приводы, датчики, контроллеры и компьютерный интерфейс. Эти компоненты составляют основу управления роботом и обеспечивают его функциональность.

Также в рабочем пространстве манипуляционного робота могут использоваться дополнительные устройства, такие как захваты, камеры, лазерные сканеры и другие элементы, увеличивающие его функциональность и универсальность в применении.

В целом, рабочее пространство манипуляционного робота представляет собой интегрированную систему, обеспечивающую его полноценное функционирование и позволяющую решать широкий спектр задач в различных промышленных и научных областях.

Кинематические структурные схемы манипуляторов можно классифицировать по нескольким признакам:

- Количество степеней свободы (КСС) – количество независимых координат, которыми может управлять манипулятор. В зависимости от КСС манипуляторы могут быть: полностью подвижными, ограниченно подвижными, стационарными.

- Количество звеньев – количество соединительных элементов, составляющих манипулятор. В зависимости от количества звеньев манипуляторы могут быть: однозвенными; многозвенными.

- Тип соединительных элементов – соединительные элементы могут быть различных типов: поворотные звенья; передвижные звенья; параллельные звенья; сферические звенья.

- Тип управления – управление манипулятором может осуществляться различными способами: через механические приводы; через гидравлические приводы; через пневматические приводы; через электронные приводы.

Кинематические структурные схемы манипуляторов также можно классифицировать на два типа: вращательные и поступательные.

Вращательные манипуляторы имеют вращательные звенья, которые могут вращаться вокруг оси. Такие манипуляторы обычно используются для выполнения задач, связанных с перемещением объектов вокруг оси, например,

для сверления отверстий в деталях или для перемещения предметов на конвейере.

Поступательные манипуляторы имеют поступательные звенья, которые могут перемещаться вдоль оси. Такие манипуляторы обычно используются для выполнения задач, связанных с перемещением объектов вдоль прямой линии, например, для перемещения предметов на конвейере или для сборки деталей.

Кроме того, существуют гибридные манипуляторы, которые сочетают в себе как вращательные, так и поступательные звенья. Такие манипуляторы могут выполнять более сложные задачи, такие как перемещение объектов в трехмерном пространстве.

По количеству вращательных и поступательных степеней подвижности можно определить системы координат, в которых они учитываются:

- Система координат является прямоугольной, если робот имеет 3 поступательных степеней подвижности (ППП);
- Система координат является цилиндрической, если робот имеет 2 поступательных и 1 вращательную степени подвижности (ВПП);
- Система координат – сферическая, если робот имеет 1 поступательную и 2 вращательных степени подвижности (ВВП).

Прямоугольная система координат – это система координат базового звена. В этой системе координат рассматривается движение всего робота в пространстве, а не отдельно каждого звена. Степени подвижности в этой системе координат три: трансляция по оси X, по оси Y и по оси Z. Рабочая зона промышленного робота имеет форму параллелепипеда.

Цилиндрическая система координат – это система координат звена. В этой системе координат рассматривается движение отдельного звена робота. Степени подвижности в этой системе координат три: трансляция вдоль оси звена, поворот звена вдоль оси и изменение длины звена. Рабочая зона промышленного робота имеет форму неполного цилиндра.

Сферическая система координат – это система координат инструмента. В этой системе координат рассматривается движение конечного инструмента робота, который может быть прикреплен к последнему звену или его крюку. Степени подвижности в этой системе координат три: поворот вокруг оси инструмента, наклон инструмента и изменение длины инструмента. Рабочая зона промышленного робота имеет форму неполного шара.

2.2 Прямоугольная система координат

Прямоугольная система координат робота-манипулятора является одной из основных систем координат, используемых в робототехнике. Она позволяет определить положение и ориентацию манипулятора в пространстве, что необходимо для выполнения задач промышленной автоматизации, монтажа и сборки изделий, а также других операций, требующих точности и высокой скорости.

Прямоугольная система координат состоит из трех осей: X , Y и Z , которые пересекаются в точке начала координат, как показано на рисунке 5. Ось X направлена вдоль длинной стороны рабочей области манипулятора, ось Y – вдоль короткой стороны, а ось Z – вертикально вверх. Координаты точки в этой системе задаются тремя числами: X , Y и Z , которые определяют расстояние от начала координат до точки вдоль каждой из осей.

Для управления манипулятором в прямоугольной системе координат используются различные алгоритмы и программы, которые позволяют задавать точки и траектории движения, а также определять углы поворота и скорость движения каждого звена манипулятора. Это позволяет роботу выполнять различные задачи, такие как подъем и перемещение предметов, сварку, резку и другие операции.

Прямоугольная система координат робота-манипулятора имеет множество применений в различных отраслях промышленности, таких как автомобильная, электронная, металлургическая и другие. Она позволяет автоматизировать производственные процессы, увеличить производительность и точность работы, а также снизить затраты на производство.

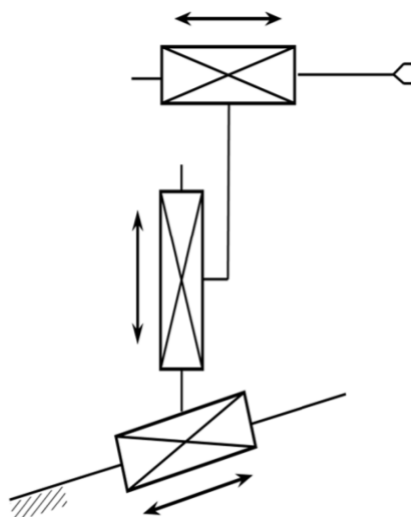


Рисунок 5 – Кинематическая схема робота в декартовой системе координат

Для формализованного описания рабочего пространства робота манипулятора можно определить следующие логические переменные, описывающие граничные поверхности:

– x_{\min} – переменная, определяющая минимальное значение координаты x , при котором робот может работать. Если $x < x_{\min}$, то робот находится за пределами рабочей зоны;

– x_{\max} – переменная, определяющая максимальное значение координаты x , при котором робот может работать. Если $x > x_{\max}$, то робот находится за пределами рабочей зоны;

– y_{\min} – переменная, определяющая минимальное значение координаты y , при котором робот может работать. Если $y < y_{\min}$, то робот находится за пределами рабочей зоны;

– y_{\max} – переменная, определяющая максимальное значение координаты y , при котором робот может работать. Если $y > y_{\max}$, то робот находится за пределами рабочей зоны;

– z_{\min} – переменная, определяющая минимальное значение координаты z , при котором робот может работать. Если $z < z_{\min}$, то робот находится за пределами рабочей зоны;

– z_{\max} – переменная, определяющая максимальное значение координаты z , при котором робот может работать. Если $z > z_{\max}$, то робот находится за пределами рабочей зоны.

Для расчета Булевой функции рабочего пространства робота с прямоугольной системой координат необходимо определить, может ли манипулятор робота достичь любой точки в данном пространстве. Для этого можно использовать следующую формулу:

$$W = (x_{\min} \leq x \leq x_{\max}) \wedge (y_{\min} \leq y \leq y_{\max}) \wedge (z_{\min} \leq z \leq z_{\max}) \quad (1)$$

где x, y, z – координаты точки в пространстве.

Программный код Булевой функции прямоугольной системы координат для проверки принадлежности точки позиционирования схвата манипуляционного робота рабочему пространству приведен в приложении А.

2.3 Цилиндрическая система координат

Цилиндрическая система координат робота-манипулятора является одной из наиболее распространенных систем координат в промышленности. Она используется для описания положения и ориентации рабочего инструмента манипулятора в пространстве.

Цилиндрическая система координат состоит из трех координатных осей: радиуса (r), угла (θ) и высоты (z). Она представляет собой цилиндр, в котором ось z совпадает с осью цилиндра, а плоскость xy является основанием цилиндра. Угол θ измеряется относительно оси x , а радиус r измеряется от оси z до точки на плоскости xy .

Цилиндрическая система координат, кинематическая схема которой представлена на рисунке 6, позволяет описывать положение и ориентацию рабочего инструмента манипулятора в пространстве с помощью трех координат:

r , θ и z . Она позволяет управлять движением манипулятора вдоль оси z , вращением вокруг оси z и перемещением вдоль радиуса цилиндра.

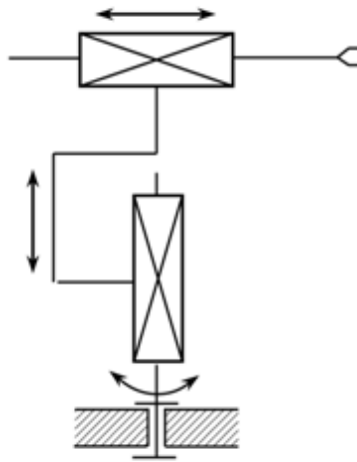


Рисунок 6 – Кинематическая схема робота в цилиндрической системе координат

Цилиндрическая система координат широко используется в промышленности для управления роботами-манипуляторами, которые выполняют задачи вращения, перемещения и подъема объектов. Она позволяет управлять манипулятором с высокой точностью и эффективностью, что делает ее незаменимой в производственных процессах.

В заключение, цилиндрическая система координат робота-манипулятора является одной из наиболее распространенных систем координат в промышленности. Она позволяет описывать положение и ориентацию рабочего инструмента манипулятора в пространстве с помощью трех координат: r , θ и z , что делает ее незаменимой в производственных процессах.

Для определения логических переменных, которые определяют граничные поверхности в рабочем пространстве робота манипулятора с цилиндрической системой координат, можно использовать следующие критерии:

1) переменная Z ограничена сверху и снизу определенными значениями, которые могут быть заданы как константы или функции от других переменных, и если Z больше или меньше этих значений, то выработывается сигнал аварии;

2) переменная R ограничена сверху и снизу определенными значениями, которые могут быть заданы как константы или функции от других переменных, и если R больше или меньше этих значений, то выработывается сигнал аварии;

3) переменная θ ограничена сверху и снизу определенными значениями, которые могут быть заданы как константы или функции от других переменных, и если θ больше или меньше этих значений, то выработывается сигнал аварии.

Для решения задачи с рабочим пространством робота-манипулятора с цилиндрической системой координат используются следующие параметры:

- r – радиус рабочей зоны;
- h_{\min} – минимальная высота, на которой может находиться объект;
- h_{\max} – максимальная высота, на которой может находиться объект;
- α_{\min} – минимальный угол поворота манипулятора;
- α_{\max} – максимальный угол поворота манипулятора;
- β_{\min} – минимальный угол наклона манипулятора;
- β_{\max} – максимальный угол наклона манипулятора.

Булева функция, описывающая рабочее пространство робота с цилиндрической системой координат выглядит следующим образом:

$$W = (x^2 + y^2 \leq r) \wedge (h_{\min} \leq h \leq h_{\max}) \wedge (\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}) \wedge (\beta_{\min} \leq \beta \leq \beta_{\max}) \quad (2)$$

где x, y, z – координаты точки в пространстве;

α и β – углы поворота и наклона манипулятора соответственно.

Следовательно, внутри рабочей зоны робота функция R будет иметь значение "Истина", а для всех остальных точек - значение "Ложь".

Программный код Булевой функции четырёх степенного робота с цилиндрической системой координат для проверки принадлежности точки позиционирования схвата манипуляционного робота рабочему пространству приведен в приложении Б.

2.4 Сферическая система координат

Сферическая система координат является одной из наиболее удобных и эффективных систем координат для робота-манипулятора, особенно в случаях, когда робот должен работать в трехмерном пространстве. В этой системе координат, каждая точка определяется тремя параметрами: радиусом, углом азимута и углом места.

Радиус определяет расстояние от начала координат до точки, угол азимута определяет направление точки относительно оси z , а угол места определяет угол между точкой и плоскостью xy . Таким образом, сферическая система координат позволяет точно определить положение объекта в трехмерном пространстве.

Для робота-манипулятора, работающего в сферической системе координат, кинематическая схема которого показана на рисунке 7, необходимо иметь соответствующее программное обеспечение, которое позволит ему точно определять положение объекта и выполнять заданные действия. Кроме того, робот должен быть оснащен соответствующими датчиками и приводами, которые позволят ему точно перемещаться и выполнять заданные действия.

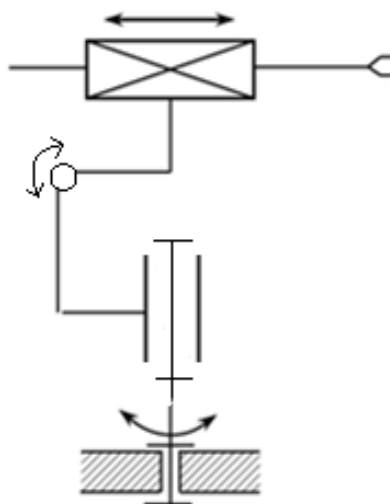


Рисунок 7 – Кинематическая схема робота в сферической системе координат

Сферическая система координат может быть использована в различных областях, таких как автоматизированное производство, медицинская диагностика, аэрокосмическая промышленность и другие. В каждой из этих областей, робот-манипулятор, работающий в сферической системе координат, может значительно упростить и ускорить процесс работы, повысить точность и надежность выполнения задач.

Таким образом, сферическая система координат является важным инструментом для роботов-манипуляторов, позволяющим им эффективно работать в трехмерном пространстве и выполнять заданные действия с высокой точностью и надежностью.

Для описания рабочего пространства робота манипулятора со сферической системой координат с применением математического аппарата R-функций логические переменные, задающие граничные поверхности, зависят от задачи, которую необходимо решить. Например, для задачи позиционирования конца манипулятора по определенным координатам, граничная поверхность может быть определена следующим образом:

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2 \quad (3)$$

где x, y, z – координаты конца манипулятора;

r – радиус рабочей сферы.

Таким образом, логические переменные могут быть определены в зависимости от уравнений граничных поверхностей, которые, в свою очередь, определяются конкретной задачей.

Параметры Булевой функции рабочего пространства манипуляционного робота со сферической системой координат:

- R_{\max} – максимальное расстояние от начала координат сферической системы до точки в пространстве, которую может достичь схват манипулятора;
- α_{\min} и α_{\max} – минимальное и максимальное значение угла поворота манипулятора вокруг оси OX;
- β_{\min} и β_{\max} – минимальное и максимальное значение угла поворота манипулятора вокруг оси OY;
- γ_{\min} и γ_{\max} – минимальное и максимальное значение угла поворота манипулятора вокруг оси OZ.

Эти параметры определяют фактическую область допустимых точек, которую может достичь манипулятор. Рабочее пространство манипулятора со сферической системой координат представляет собой объем внутри сферы радиуса R_{\max} и ограниченный границами соответствующих диапазонов поворота манипулятора вокруг каждой из осей OX, OY и OZ.

Для расчета Булевой функции рабочего пространства робота со сферической системой координат необходимо использовать следующую формулу:

$$W(r, \alpha, \beta, \gamma) = (0 \leq r \leq R_{\max}) \wedge (\alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}) \wedge (\beta_{\min} \leq \beta \leq \beta_{\max}) \wedge (\gamma_{\min} \leq \gamma \leq \gamma_{\max}) \quad (4)$$

где r – радиус рабочей сферы;

α, β, γ – углы поворота.

Программный код Булевой функции со сферической системой координат для проверки принадлежности точки позиционирования схвата манипуляционного робота рабочему пространству приведен в приложении В.

3 Математический алгоритм для выбора оптимального робота

3.1 Разработка математического алгоритма

Для разработки математического алгоритма по рабочей зоне необходимо учитывать следующие параметры:

- Размеры деталей – необходимо определить максимальный размер деталей, которые будут собираться и упаковываться роботом;
- Размеры рабочей зоны – необходимо определить размеры рабочей зоны, чтобы робот мог свободно перемещаться и выполнять задачи;
- Требования к точности – необходимо определить требования к точности, чтобы робот мог собирать и упаковывать детали без ошибок;
- Требования к скорости – необходимо определить требования к скорости, чтобы робот мог обеспечивать высокую производительность и эффективность процесса;
- Требования к гибкости – необходимо определить требования к гибкости, чтобы робот мог адаптироваться к различным типам деталей и задач;
- Требования к надежности – необходимо определить требования к надежности, чтобы робот мог работать без сбоев и ошибок.

На основе этих параметров можно разработать математический алгоритм по рабочей зоне, который будет определять оптимальный маршрут движения робота и точки остановки для сборки и упаковки деталей. При выборе базы промышленных роботов необходимо учитывать совместимость с разработанным алгоритмом и возможность его настройки под конкретные требования компании.

Исходя из этих факторов, были рассмотрены промышленные роботы компаний ABB, Fanuc, KUKA и Universal Robots. Ниже представлены параметры рабочих пространств в таблицах 2-5 и расчёты Булевых функций для каждого робота-манипулятора.

Таблица 2 – Параметры для рабочего пространства робота-манипулятора KUKA KR 3 R540 с цилиндрической системой координат

r	h_{\min}	h_{\max}	α_{\min}	α_{\max}	β_{\min}	β_{\max}
540 мм	500 мм	1600 мм	90°	90°	120°	90°

Булева функция, описывающая рабочее пространство робота-манипулятора KUKA KR 3 R540, по формуле (2) будет иметь вид:

$$W = (x^2 + y^2 \leq 540) \wedge (500 \leq h \leq 1600) \wedge (-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ) \wedge (-120^\circ \leq \beta \leq 90^\circ)$$

где \wedge – логическое "И", которое означает, что все условия должны быть выполнены одновременно.

Таким образом, если значение функции W для заданных значений r , h , α и β равно 1, то манипулятор робота может достичь данной точки в пространстве. Если же значение функции W равно 0, то данная точка недоступна для манипулятора робота.

Таблица 3 – Параметры для рабочего пространства робота-манипулятора Universal Robots UR10e с прямоугольной системой координат

r	x_{\min}	x_{\max}	y_{\min}	y_{\max}	z_{\min}	z_{\max}
1300 мм	-2000 мм	2000 мм	-2000 мм	2000 мм	500 мм	1300 мм

Булева функция, описывающая рабочее пространство робота-манипулятора, по формуле (1) будет иметь вид:

$$W = (-2000 \leq x \leq 2000) \wedge (-2000 \leq y \leq 2000) \wedge (500 \leq z \leq 1300)$$

В этом примере функция принимает на вход три аргумента – координаты точки (x, y, z) и использует указанные рабочие лимиты в каждом из направлений для проверки, находится ли данная точка в рабочем пространстве робота. Если точка находится в рабочем пространстве, то функция возвращает значение "Истина", в противном случае возвращает значение "Ложь". Значения рабочих лимитов могут быть настроены в зависимости от конкретных характеристик робота и его рабочей области.

Таблица 4 – Параметры для рабочего пространства робота-манипулятора ABB IRB 2400 со сферической системой координат

R_{\max}	α_{\min}	α_{\max}	β_{\min}	β_{\max}	γ_{\min}	γ_{\max}
1500 мм	-180°	180°	-70°	180°	-180°	180°

Булева функция, описывающая рабочее пространство робота-манипулятора, по формуле (4) будет иметь вид:

$$W = (0 \leq r \leq 1500) \wedge (-180^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ) \wedge (-70^\circ \leq \beta \leq 180^\circ) \wedge (-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ)$$

Таким образом, манипулятор робота со сферической системой координат сможет достичь любой точки в данном пространстве, находящейся в пределах заданных параметров.

Таблица 5 – Параметры для рабочего пространства робота-манипулятора FANUC LR Mate 200iD/4S с цилиндрической системой координат

r	h_{\min}	h_{\max}	α_{\min}	α_{\max}	β_{\min}	β_{\max}
704 мм	141 мм	911 мм	-170°	170°	-135°	135°

Булева функция, описывающая рабочее пространство робота-манипулятора FANUC LR Mate 200iD/4S, по формуле (2) будет иметь вид:

$$W = (x^2 + y^2 \leq 704) \wedge (141 \leq h \leq 911) \wedge (-170^\circ \leq \alpha \leq 170^\circ) \wedge (-135^\circ \leq \beta \leq 135^\circ)$$

Таким образом, манипулятор робота с цилиндрической системой координат сможет достичь любой точки в данном пространстве, находящейся в пределах заданных параметров.

3.2 Расчет Булевой функции рабочей зоны робота

Булева функция - это функция, которая принимает один или несколько булевых (логических) аргументов и возвращает булево значение (истина или ложь). Булевы функции широко используются в логике, математике, электронике, программировании и других областях. Они могут быть представлены в виде таблиц истинности или логических выражений. Для определения принадлежности точки рабочей зоне робота необходимо вычислить значение Булевой функции для заданных параметров.

Если значение Булевой функции равно 1, то точка принадлежит рабочей зоне робота, если же значение равно 0, то точка находится за пределами рабочей зоны.

Так например, для определения принадлежности точки (x, y, z) рабочей зоне робота с прямоугольной системой координат необходимо вычислить значение Булевой функции $W(x, y, z)$ для заданных параметров $x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max}, z_{\min}, z_{\max}$.

Для определения принадлежности точки (r, h, α, β) рабочей зоне робота с цилиндрической системой координат необходимо вычислить значение Булевой функции $W(r, h, \alpha, \beta)$ для заданных параметров $R_{\max}, h_{\min}, h_{\max}, \alpha_{\min}, \alpha_{\max}, \beta_{\min}, \beta_{\max}$.

А для определения принадлежности точки $(r, \alpha, \beta, \gamma)$ рабочей зоне робота со сферической системой координат необходимо вычислить значение Булевой функции $W(r, \alpha, \beta, \gamma)$ для заданных параметров $R_{\max}, \alpha_{\min}, \alpha_{\max}, \beta_{\min}, \beta_{\max}, \gamma_{\min}, \gamma_{\max}$.

Так как в дипломной работе рассматриваются три системы координат, в таблице 6 приведены значения точки с координатами всех параметров.

Подставив координаты в Булевы функции роботов-манипуляторов, определим их принадлежность рабочей поверхности.

Таблица 6 – Точка А с координатами для трёх типов систем для определения принадлежности рабочей зоне

r	500 мм	γ	90°
h	1200 мм	x	1000 мм
α	60°	y	500 мм
β	-30°	z	400 мм

1) Булева функция точки А робота-манипулятора KUKA KR 3 R540 с цилиндрической системой координат по формуле (2):

$$W(r, h, \alpha, \beta) = W(500, 1200, 60^\circ, -30^\circ) = (0 \leq 500 \leq 540) \wedge \\ \wedge (500 \leq 1200 \leq 1600) \wedge (-90^\circ \leq 60^\circ \leq 90^\circ) \wedge \\ \wedge (-120^\circ \leq -30^\circ \leq 90^\circ) = \text{TRUE}$$

2) Булева функция точки А робота-манипулятора Universal Robots UR10e с прямоугольной системой координат по формуле (1):

$$W(x, y, z) = W(1000, 500, 400) = (-2000 \leq 1000 \leq 2000) \wedge \\ \wedge (-2000 \leq 500 \leq 2000) \wedge (500 \leq 400 \leq 1300) = \text{FALSE}$$

3) Булева функция точки А робота-манипулятора ABB IRB 2400 со сферической системой координат по формуле (4):

$$W(r, \alpha, \beta, \gamma) = W(500, 60^\circ, -30^\circ, 90^\circ) = (0 \leq 500 \leq 1500) \wedge \\ \wedge (-180^\circ \leq 60^\circ \leq 180^\circ) \wedge (-70^\circ \leq -30^\circ \leq 180^\circ) \wedge \\ \wedge (-180^\circ \leq 90^\circ \leq 180^\circ) = \text{FALSE}$$

4) Булева функция точки А робота-манипулятора FANUC LR Mate 200iD/4S с цилиндрической системой координат по формуле (2):

$$W(r, h, \alpha, \beta) = W(500, 1200, 60^\circ, -30^\circ) = (0 \leq 500 \leq 704) \wedge \\ \wedge (141 \leq 1200 \leq 911) \wedge (-170^\circ \leq 60^\circ \leq 170^\circ) \wedge \\ \wedge (-135^\circ \leq -30^\circ \leq 135^\circ) = \text{FALSE}$$

4 Выбор оптимального робота и математическая модель

4.1 Результаты расчетов и выбор оптимального робота

По результатам расчётов Булевой функции для определения принадлежности точки рабочей поверхности робота, был сделан вывод, что робот-манипулятор KUKA KR 3 R540 является самым оптимальным вариантом. Разработана схема алгоритма моделирования робота, которая приведена ниже на рисунке 8. Остальные 3 робота не являются оптимальными, поскольку несоответствие заданным параметрам хотя бы одной координаты в Булевой функции, означает, что точка не принадлежит рабочей поверхности.

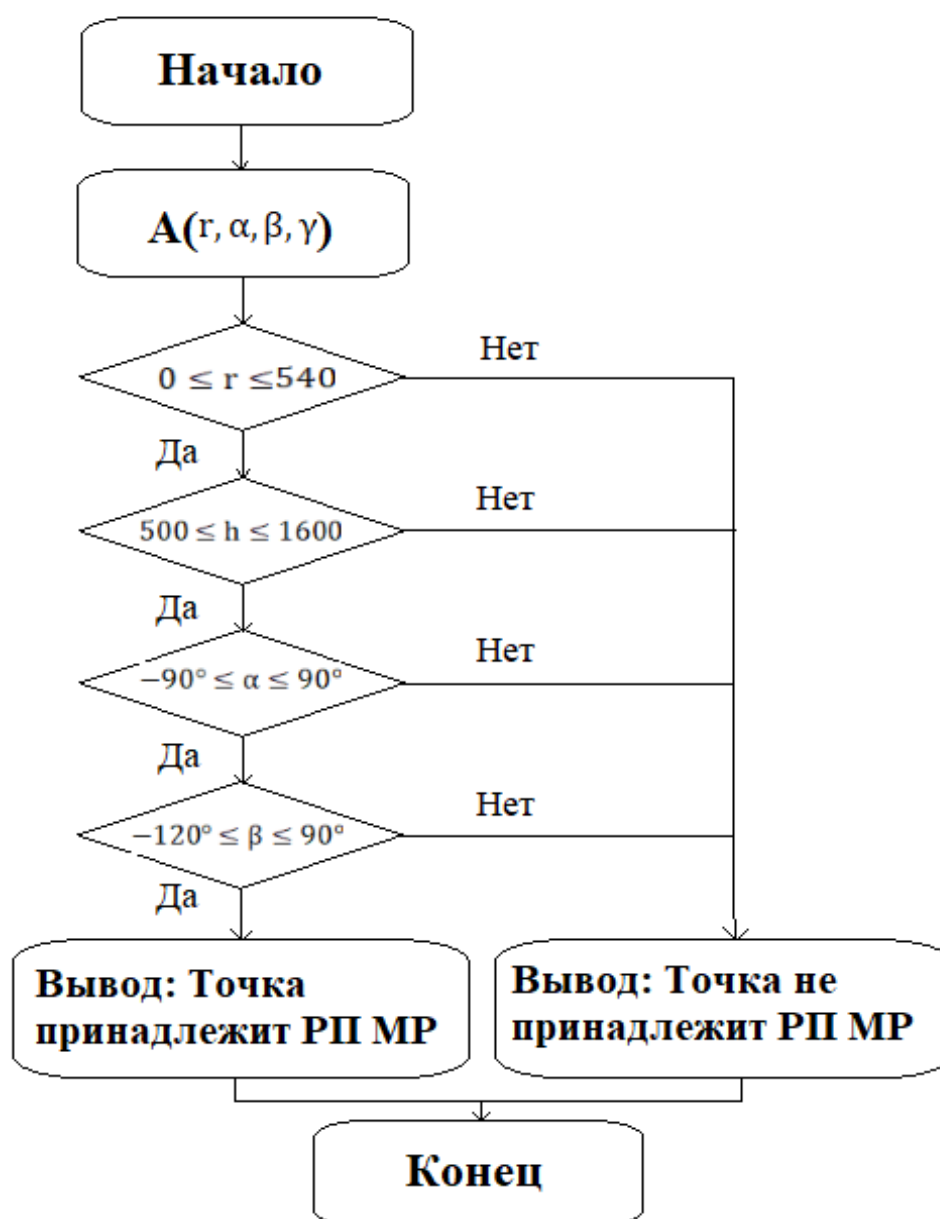


Рисунок 8 – Схема алгоритма моделирования рабочей поверхности манипулятора

4.2 Составление математической модели по сети Петри

Сеть Петри – это графическая модель, которая используется для описания дискретных систем. Она состоит из позиций (мест) и переходов, которые связывают эти места. Позиции представляют собой некоторые состояния системы, а переходы – события, которые могут изменять эти состояния.

В сети Петри каждая позиция может содержать определенное количество маркеров (фишек), которые представляют ресурсы или объекты в системе. Переходы могут быть активированы только в том случае, если все связанные с ними позиции содержат необходимое количество маркеров. При активации перехода маркеры перемещаются из позиций, связанных с этим переходом, в другие позиции, что отражает изменение состояния системы.

Для составления математической модели по сети Петри необходимо выполнить следующие шаги:

- Определить множество позиций (мест) и переходов сети Петри;
- Описать связи между позициями и переходами в виде дуг;
- Задать начальное состояние сети Петри, т.е. распределение маркеров по позициям;
- Описать правила перехода маркеров между позициями и переходами в виде функций.

Сеть Петри может быть использована для анализа производительности системы, определения узких мест и проблем в процессе, а также для оптимизации производственных процессов.

В качестве примера моделирования схемы сборки с помощью сети Петри была рассмотрена компьютерная беспроводная мышь. Сборку производят два автоматизированных робота-манипулятора.

Беспроводная мышь состоит из четырех деталей: закрытого корпуса, батареи, кнопок и беспроводного передатчика.

Закрытый корпус беспроводной мыши состоит из пластиковых деталей, которые обеспечивают защиту внутренних компонентов мыши. Внутри корпуса находятся электронные компоненты, такие как микроконтроллер, передатчик и приемник радиосигналов, оптический сенсор для определения движения мыши и батарейный блок для питания устройства. Корпус также содержит колесо прокрутки для удобства навигации по страницам.

Батареи – обычно мышь работает от одной или двух батарей типа АА или ААА.

Кнопки – мышь имеет две основные кнопки и колесо прокрутки, которые используются для управления компьютером.

Беспроводной передатчик – устройство, которое передает данные от мыши на компьютер через радиоволновую связь.

На рисунке 9 представлена разработанная схема сборки беспроводной компьютерной мыши с названиями деталей и их номерами.



Рисунок 9 – Схема сборки беспроводной компьютерной мыши

Перед получением математической модели схемы в виде сети Петри, её необходимо преобразовать в изображение, где прямоугольники заменяются кружками с той же нумерацией деталей, как показано на рисунке 10.

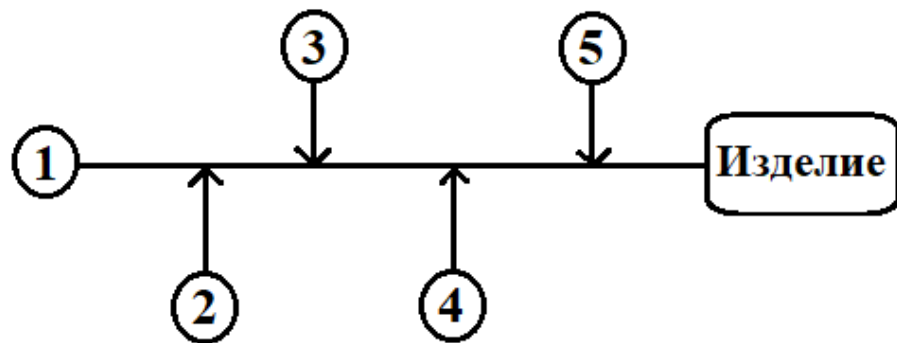


Рисунок 10 – Преобразование схемы сборки

На основе преобразованной схемы сборки была получена математическая модель в виде сети Петри, изображенная на рисунке 11. Кружки с номерами деталей из рисунка 10 преобразуются в позиции сети Петри (P1-P6), а соединения деталей – в переходы (t1-t4). Позиции сети (P7-P9) вводятся дополнительно для отражения результатов сборки после соединения 2 элементов.

Сеть Петри для данного процесса будет состоять из 4 позиций и 4 переходов.

Позиции:

P1 – детали находятся на рабочей поверхности;

P2 – наличие корпуса мыши;

P3 – наличие батарей для мыши;

P4 – наличие кнопок для мыши;

P5 – наличие беспроводного передатчика для мыши;

P6 – готовое изделие.

Переходы:
 T1 – установка корпуса мыши в зону сборки первым роботом;
 T2 – установка батарей в корпус мыши вторым роботом;
 T3 – установка кнопок в корпус мыши первым роботом;
 T4 – установка беспроводного передатчика в корпус мыши вторым роботом.

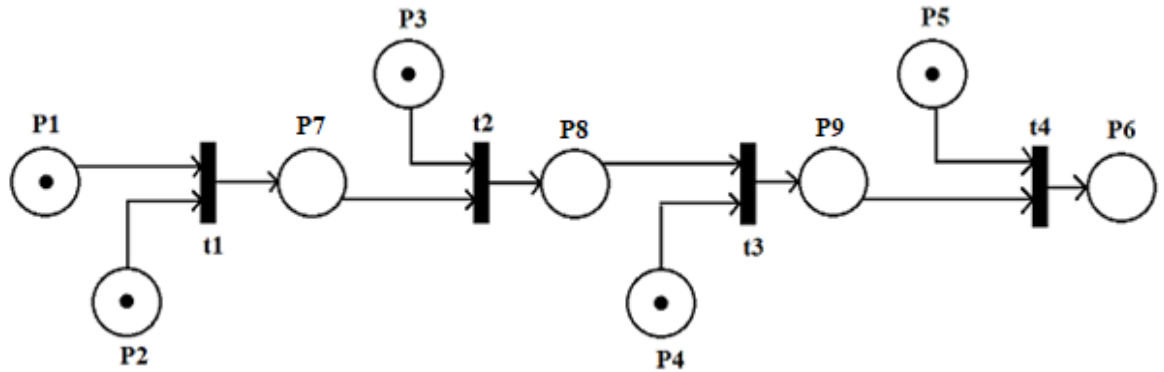


Рисунок 11 – Сеть Петри

Для улучшения сети Петри, в схему сборки вводятся дополнительные позиции (P10-P13), как показано на рисунке 12. Процесс работы манипуляционных роботов состоит в том, что цикл сборки нескольких готовых мышек производится последовательно, т.е. сборка следующего изделия не может начаться, пока не завершена сборка предыдущего. И дополнительные позиции на переходах с определенным временем задержки будут обеспечивать невозможность срабатывания переходов.

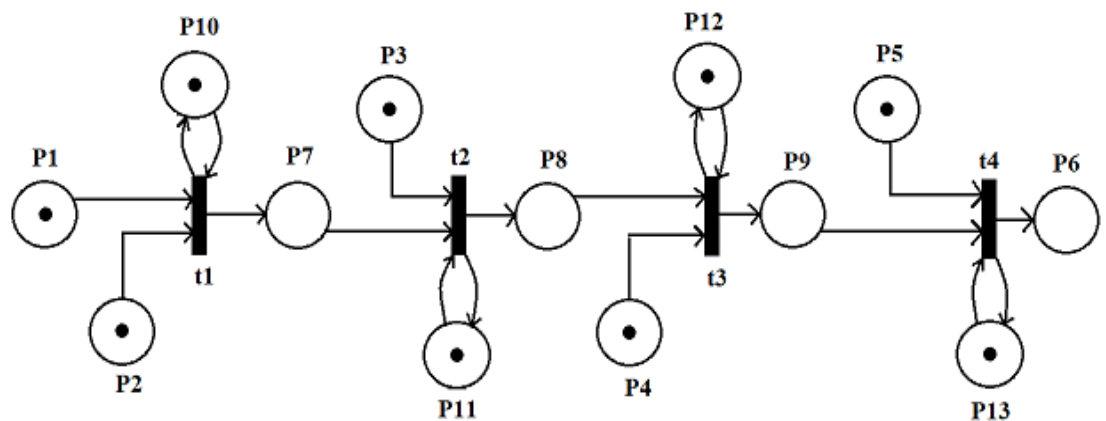


Рисунок 12 – Улучшенная сеть Петри

5 Описание робота и разработка роботизированной системы

5.1 Описание выбранного оптимального робота

KUKA (Kuka Robotics Corporation) – это немецкая компания, которая производит промышленные роботы и автоматические системы управления. Основная специализация KUKA – это производство роботов для автоматизации процессов в автомобильной промышленности, а также для использования в других промышленных отраслях.

Роботы KUKA имеют широкий диапазон применения, включая сварочные, резальные и покрасочные работы, а также работу с материалами и управление логистикой. Более того, KUKA поставляет роботов с различными рабочими объемами и способностями, включая роботов для малых, средних и больших нагрузок.

KUKA – это мировой лидер в области промышленных роботов-манипуляторов. Эта компания была основана в 1898 году и начала свою деятельность как предприятие по производству железобетонных конструкций. В настоящее время KUKA стала одной из самых известных марок роботов-манипуляторов в мире.

Роботы-манипуляторы KUKA используются в разных отраслях, таких как автомобильная, энергетическая, электронная промышленность, а также в медицинском, пищевом производстве и других областях. Роботы этой компании отличаются высокой точностью и надежностью, а также способностью работать в тяжелых условиях.

Кроме того, роботы KUKA обладают гибкостью и мобильностью, что позволяет использовать их в различных задачах, включая линейное и нелинейное перемещение, сборку, сварку и другие операции.

Интерфейсы управления роботами-манипуляторами KUKA отличаются простотой и удобством использования. Они могут быть интегрированы с другими системами контроля и управления, что позволяет автоматизировать производственные процессы и повысить эффективность работы.

На данный момент KUKA предлагает широкий спектр роботов-манипуляторов, начиная с небольших и легких моделей для монтажа и сборки, и заканчивая тяжелыми и мощными роботами для сварки и резки.

KUKA KR 3 R540 – это робот-манипулятор, разработанный компанией KUKA Robotics. Он предназначен для выполнения различных задач в промышленности, таких как сварка, покраска, обработка материалов и сборка.

Робот имеет шесть степеней свободы и может перемещаться в трехмерном пространстве. Его максимальная грузоподъемность составляет 3 кг, а максимальный радиус действия – 541 мм. Робот оснащен электромеханическими приводами, которые обеспечивают высокую точность и скорость движения.

Управление роботом осуществляется с помощью программного обеспечения KUKA Control Panel (КСП), которое позволяет программировать и управлять роботом из любой точки производственной линии. КСП имеет

интуитивно понятный интерфейс и поддерживает несколько языков программирования.

Робот-манипулятор KUKA KR 3 R540 имеет компактный дизайн и может быть установлен на стационарную базу или на мобильную платформу для выполнения задач в различных местах производства. Он также может быть оснащен дополнительными инструментами, такими как присоски или захваты, для выполнения различных задач.

Робот-манипулятор KUKA KR 3 R540 является надежным и эффективным решением для автоматизации производства. Он обеспечивает высокую точность и скорость выполнения задач, а также улучшает безопасность и эргономику рабочего места.

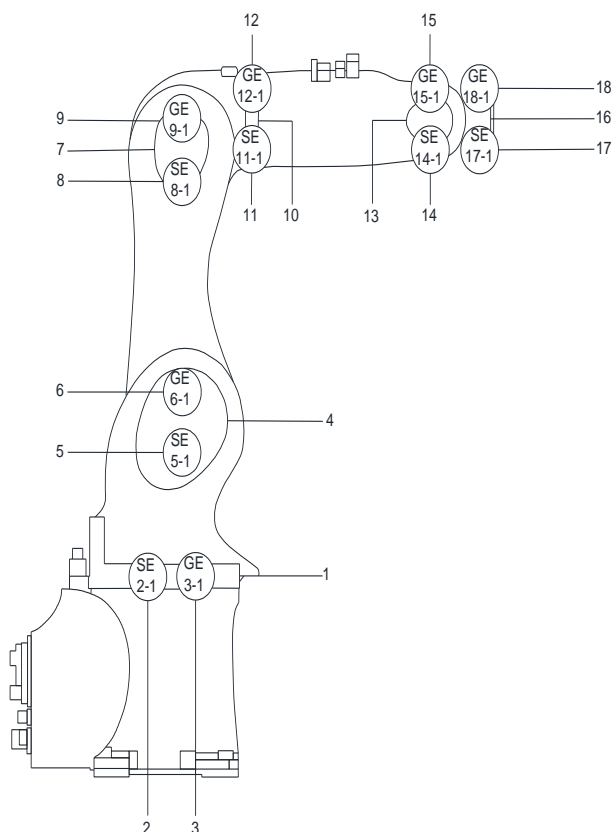
5.2 Функциональная схема автоматизации робота и спецификация

Функциональная схема автоматизации робота KUKA KR 3 R540 включает в себя следующие компоненты:

- Робот-манипулятор KUKA KR 3 R540 – основной элемент автоматизированной системы, который выполняет задачи в соответствии с программой управления;
- Программное обеспечение KUKA Control Panel (КСП) – позволяет программировать и управлять роботом из любой точки производственной линии;
- Контроллер робота – управляет работой робота и обеспечивает его безопасность;
- Датчики – используются для определения положения и ориентации робота, а также для обнаружения препятствий на его пути;
- Инструменты – дополнительные устройства, такие как присоски или захваты, которые могут быть установлены на конце манипулятора для выполнения различных задач;
- Коммуникационные интерфейсы – обеспечивают связь между различными компонентами системы и позволяют передавать данные и команды управления;
- Питание – обеспечивает электропитание всей системы автоматизации.

В роботе-манипуляторе KUKA KR 3 R540 используются такие датчики как датчик скорости (SE) и датчик положения (GE).

Функциональная схема автоматизации робота KUKA KR 3 R540 изображена на рисунке 13, а её спецификация представлена в таблице 7.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Приборы по месту		ST 2-2	GT 3-2		ST 5-2	GT 6-2		ST 8-2	GT 9-2		ST 11-2	GT 12-2		ST 14-2	GT 15-2		ST 17-2	GT 18-2
Щит оператора	SC 1-3			SC 4-3			SC 7-3			SC 10-3			SC 13-3			SC 16-3		

Рисунок 13 – Функциональная схема автоматизации робота

Таблица 7 – Спецификация на приборы и средства автоматизации изображенные на схеме автоматизации

5	3-2	Прибор для измерения положения с дистанционной передачей показаний	Линейный оптический энкодер Fagor	6
4	3-1	Первичный измерительный преобразователь положения (перемещения)	Линейный датчик перемещения TX2-0250	6
3	2-2	Прибор для измерения скорости с дистанционной передачей показаний	Лазерный дальномер SNDWAY	6

2	2-1	Первичный измерительный преобразователь скорости (линейная или угловая)	Линейный датчик перемещения TX2-0250	6
1	1-3	Регулятор скорости	осевой модуль Lenze ESC	6
№	Позиционное обозначение	Наименование	Тип прибора	Количество

Датчики скорости в роботе-манипуляторе KUKA KR 3 R540 используются для определения скорости движения робота в каждой из шести осей и для обеспечения точности при выполнении задач. Они могут быть энкодерами, которые измеряют количество оборотов вращения двигателя и преобразуют его в скорость движения оси.

Датчики положения в роботе-манипуляторе KUKA KR 3 R540 используются для определения точного положения робота в каждой из шести осей. Они могут быть энкодерами или датчиками Холла, которые измеряют угол поворота оси и преобразуют его в точное положение робота.

KUKA Control Panel – это программное обеспечение для управления роботом KUKA KR 3 R540. Оно предоставляет пользователю удобный интерфейс для программирования и управления роботом. С помощью KUKA Control Panel, изображенного на рисунке 14, можно создавать программы для робота, настраивать его параметры, запускать и останавливать выполнение программы, а также мониторить состояние робота в режиме реального времени. Кроме того, KUKA Control Panel позволяет настраивать параметры безопасности робота, такие как скорость движения, допустимые зоны работы и т.д. Для работы с KUKA Control Panel необходимо иметь соответствующую лицензию роботов KUKA.



Рисунок 14 – Программное обеспечение робота

Контроллер KRC4 compact – это компактный контроллер для управления промышленными роботами KUKA. Он предназначен для управления роботами серии KR Agilus и KR Cybertech nano. Контроллер KRC4 compact, показанный на рисунке 15, обеспечивает высокую точность и скорость движения робота, а также имеет широкий диапазон функций для программирования и управления роботом.

Контроллер KRC4 compact и робот-манипулятор KUKA KR 3 R540 вместе обеспечивают высокую производительность и точность в выполнении задач в промышленности. Контроллер KRC4 compact обеспечивает удобное и простое программирование робота.



Рисунок 15 – Контроллер KRC4 compact

Для управления и программирования робота используются различные коммуникационные интерфейсы.

Один из основных интерфейсов – это Ethernet, который обеспечивает высокоскоростную связь между роботом и другими устройствами в системе управления. Ethernet может быть использован для загрузки программного обеспечения на робота, передачи данных и управления им.

Другой важный интерфейс – это RS-232, который используется для подключения робота к ПК или другому устройству для программирования и управления им. RS-232 также может использоваться для передачи данных между роботом и другими устройствами.

Кроме того, KUKA KR 3 R540 поддерживает интерфейсы USB и CAN, которые могут использоваться для подключения дополнительного оборудования, такого как датчики или периферийные устройства.

В целом, KUKA KR 3 R540 обладает широким набором коммуникационных интерфейсов, которые обеспечивают надежную связь между роботом и другими устройствами в системе управления. Это делает его удобным и гибким инструментом для автоматизации производственных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований, была разработана роботизированная система, которая позволяет автоматизировать выбор промышленного робота на основе заданных критериев. Это позволяет существенно сократить время на разработку проекта и уменьшить затраты на приобретение оборудования. Одним из главных преимуществ данной системы является возможность увеличения производительности и точности работы, что в свою очередь ведет к увеличению прибыли компании.

В ходе работы были разработаны математический алгоритм для выбора оптимального робота и сеть Петри для моделирования процесса выбора робота. Это позволило поэтапно описать поиск оптимального робота на основе его характеристик и параметров рабочей зоны.

С помощью разработанной системы можно выбирать оптимальный робот-манипулятор для конкретной задачи без необходимости проведения длительных и сложных исследований. Описанный алгоритм и выбор параметра рабочей зоны, который был использован для сравнения различных роботов, могут быть использованы в будущем для разработки схожих систем автоматизации выбора оптимального робота.

Таким образом, разработанная система представляет большой интерес для автоматизации выбора промышленных роботов на производстве и может быть использована в различных отраслях промышленности. Результаты, полученные в дипломной работе, могут в дальнейшем быть использованы для дальнейшего исследования и развития систем автоматизации выбора оптимального робота на производственных линиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кузнецов А.В. Промышленные роботы: устройство, программирование, эксплуатация. М.: Издательство "Эксмо", 2017. – 320 с.
- 2 Левин А.В. Робототехника: учебник для вузов. М.: Издательство "Юрайт", 2018. – 416 с.
- 3 Смирнов А.В. Промышленные роботы и системы автоматизации производства. М.: Издательство "Лань", 2016. – 256 с.
- 4 Шевченко А.В. Робототехнические системы и комплексы. М.: Издательство "Бином", 2019. – 352 с.
- 5 Петров В.А. Сети Петри: теория и приложения. М.: Издательство "Физматлит", 2015. – 256 с.
- 6 Кузнецов А.В. Методы оптимизации выбора промышленных роботов. М.: Издательство "Новая техника", 2018. – 192 с.
- 7 Лебедев А.В. Автоматизация производства на основе промышленных роботов. М.: Издательство "Техносфера", 2017. – 224 с.
- 8 Горбунов А.В. Промышленные роботы и системы автоматизации производства: учебное пособие. М.: Издательство "КноРус", 2019. – 288 с.
- 9 Шестаков А.В. Робототехнические системы и комплексы: учебное пособие. М.: Издательство "Инфра-М", 2016. – 320 с.
- 10 Попов А.В. Моделирование и оптимизация производственных процессов на основе сетей Петри. М.: Издательство "Лань", 2018. – 192 с.
- 11 Murata, Tadao. Petri nets: Properties, analysis and applications. Proceedings of the IEEE, 77(4), 1989, pp. 541 – 580.
- 12 Хомченко В.Г. Робототехнические системы: учебное пособие. М.: Издательство Омск 2016 г. – 195 с.

Приложение А

```
def is_within_workspace(x: float, y: float, z: float)
-> bool:
    """
    This function takes the Cartesian coordinates of a
    point and returns True/False depending on whether the
    point is
    within the specified workspace of the robot.
    """
    x_min, x_max = 0, 100 # workspace limits in x
    direction
    y_min, y_max = 0, 80 # workspace limits in y
    direction
    z_min, z_max = 0, 50 # workspace limits in z
    direction

    if x_min <= x <= x_max and y_min <= y <= y_max and
    z_min <= z <= z_max:
        return True
    else:
        return False
```

Приложение Б

```
import math

def is_within_workspace(x: float, y: float, z: float,
inner_radius: float, outer_radius: float, min_angle:
float,
                                max_angle: float, min_tilt_angle:
float, max_tilt_angle: float) -> bool:
    """
        This function takes the Cartesian coordinates of a
        point and the workspace limits of a 4-degree-of-freedom
        robot with
        cylindrical coordinates, and returns True/False
        depending on whether the point is within the specified
        workspace
        of the robot.
    """
    # Convert Cartesian coordinates to cylindrical
    coordinates
    radius = math.sqrt(x ** 2 + y ** 2)
    if radius < inner_radius or radius > outer_radius:
        return False

    # Calculate the angle and tilt angle of the point
    angle = math.degrees(math.atan2(y, x))
    tilt_angle = math.degrees(math.atan2(z, radius))

    # Check if the point is within the workspace limits
    if min_angle <= angle <= max_angle and min_tilt_angle
<= tilt_angle <= max_tilt_angle:
        return True
    else:
        return False
```

Приложение В

```
import math

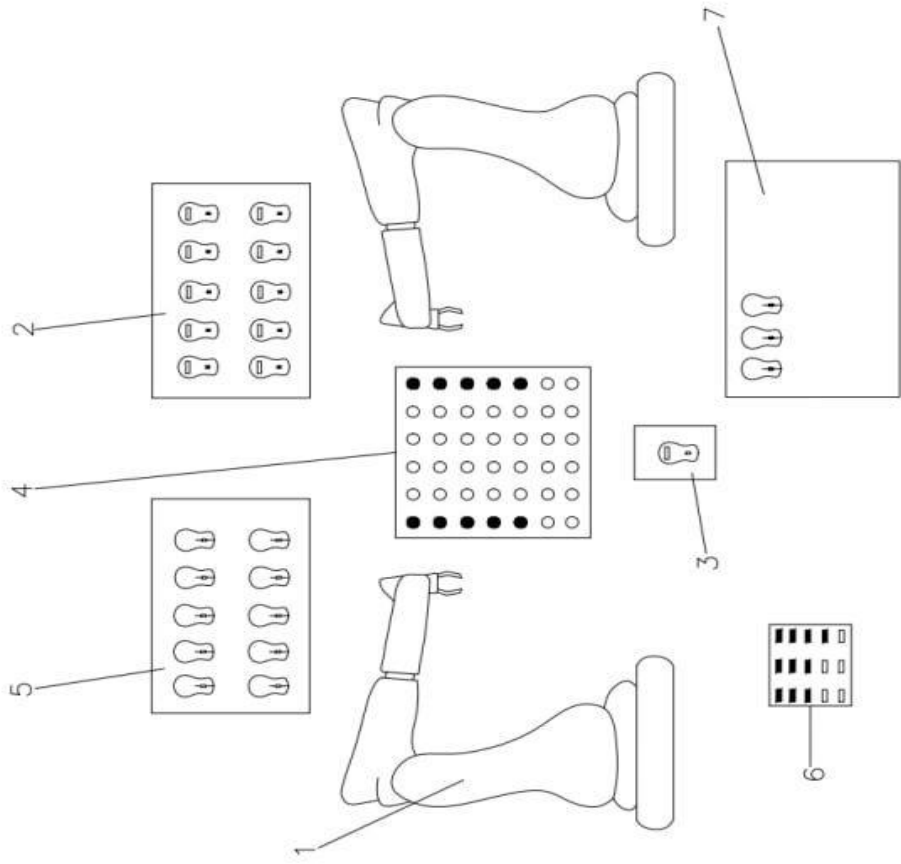
def is_within_workspace(x: float, y: float, z: float,
alpha: float, beta: float, gamma: float) -> bool:
    """
    This function takes the Cartesian coordinates of a
    point and the rotational angles of a 3-degree-of-freedom
    robot
    in spherical coordinates, and returns True/False
    depending on whether the point is within the specified
    workspace
    of the robot.
    """
    # Convert Cartesian coordinates to spherical
    coordinates
    r = math.sqrt(x ** 2 + y ** 2 + z ** 2)
    if r > R_max:
        return False

    if x == 0 and y == 0:
        if z > 0:
            phi = math.pi / 2
        else:
            phi = -math.pi / 2
    else:
        phi = math.atan2(y, x)

    theta = math.atan2(math.sqrt(x ** 2 + y ** 2), z)

    # Check if the point is within the workspace limits
    if alpha_min <= alpha <= alpha_max and beta_min <=
beta <= beta_max and gamma_min <= gamma <= gamma_max:
        return True
    else:
        return False
```

Инф. N подл.	Полнись и дата	Взам.инф.№
--------------	----------------	------------



Поз.	Наименование	Кол.	Примечание
1	Манипуляционный робот	2	
2	Корпус	1	
3	Зона сборки	1	
4	Багаж	1	
5	Кнопки	1	
6	Беспроводной передатчик	1	
7	Контейнер	1	

Дипломная работа

Компоновочная схема автоматизированной сборки беспроводной мыши

Лист	Листов
1	1

Общий вид

КазНУТУ им. К. Сатбаева
г. Алматы, 2023

**Протокол анализа Отчета подобия
заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения**

Заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения заявляет, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Қисапова Аружан Қайратқызы

Название: Разработка роботизированной системы на основе автоматизации выбора промышленного робота

Координатор: Байбатшаев Мухит Шабданович

Коэффициент подобия 1: 0.26

Коэффициент подобия 2: 0.00

Коэффициент цитирования: 1.84

Замена букв: 0

Интервалы: 0

Микропробелы: 0

Белые знаки: 0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем не допускаю работу к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 0.26 и Коэффициент подобия 2: 0. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

« 2 » июня 2023 г.
Дата



Подпись заведующего кафедрой/
начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:
Дипломный проект допускается к защите.

« 2 » июня 2023 г.
Дата



Подпись заведующего кафедрой/
начальника структурного подразделения

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Қисанова Аружан Қайратқызы

Название: Разработка роботизированной системы на основе автоматизации выбора промышленного робота

Координатор: Байбатшаев Мухит Шабданович

Коэффициент подобия 1: 0.26

Коэффициент подобия 2: 0.00

Коэффициент цитирование: 1.84

Замена букв: 0

Интервалы: 0

Микропробелы: 0

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 0.26 и Коэффициент подобия 2: 0. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

«26» мая 2023 г.

Дата



Подпись Научного руководителя

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломный проект

Қисаповой Аружан Қайратқызы

6В07103 – Автоматизация и роботизация

Тема: «Разработка роботизированной системы на основе автоматизации выбора промышленного робота»

Тема дипломного проекта связана с разработкой роботизированных систем на основе разработки и применения алгоритма автоматизированного выбора промышленных роботов.


В процессе работы над дипломным проектом Қисаповой А. был проведен обзор, анализ и классификация характеристик серийно выпускаемых промышленных роботов. Обосновано и показано, что важной характеристикой ПР, при выборе и разработке роботизированных систем, является рабочая зона. Для описания и моделирования рабочих зон ПР использован математический аппарат логических функций, позволяющие моделировать все разнообразие пространств. На основе описания рабочих пространств разработан алгоритм выбора, который доведен до модели на основе математического аппарата сетей Петри.

Все поставленные в дипломном проекте проблемы и задачи выполнены полностью.

В процессе работы Қисапова А.Қ. проявила необходимые теоретические и практические знания и навыки, полученные во время учёбы, позволившие решить поставленные задачи. Считаю, что дипломный проект выполнен на достаточно высоком теоретическом и практическом уровне и полностью соответствует требованиям к дипломному проекту на академическую степень бакалавра и заслуживает оценки «А – 97» баллов, а автор Қисапова Аружан Қайратқызы – присуждения степени бакалавра по специальности «6В07103 – Автоматизация и роботизация».

Научный руководитель

д.т.н., асс-т. профессор кафедры «Автоматизация и управление»

 Байбатшаев М.Ш.

(подпись)

«5» ИЮНЯ 2023 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект

Қисаповой Аружан Қайратқызы

6B07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: «Разработка роботизированной системы на основе автоматизации выбора промышленного робота»

Выполнено:

а) пояснительная записка на 39 страницах.

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В пояснительной записке, представленной на рецензирование Қисаповой А.Қ., исследована тема разработки роботизированных систем на основе алгоритма автоматизированного выбора промышленных роботов.

В первой главе автор подробно описывает основные понятия и определения, связанные с промышленными роботами, а также рассматривает технические характеристики промышленных роботов и выбор базы промышленных роботов.

Во второй главе были классифицированы степени подвижности робота и описаны различные системы координат, используемые в манипуляционных роботах.

В третьей главе был разработан математический алгоритм и проведены расчёты Булевой функции рабочей зоны робота.

В четвертой главе представлены результаты расчетов и выбор оптимального робота, а также составлена математическая модель по сети Петри.

Пятая глава посвящена описанию выбранного оптимального робота, функциональной схеме автоматизации робота и спецификации.

Пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ.

В целом, дипломный проект является качественной работой, которая содержит полное исследование темы и представляет собой ценный вклад в область робототехники. Рекомендуются к защите.

Оценка работы

Автор продемонстрировала глубокие знания в области автоматизации и роботизации, а также умение применять математический аппарат для моделирования и разработки роботизированных систем. Работа полностью соответствует требованиям к дипломному проекту на академическую степень бакалавра. Автор заслуживает оценки «А» и присуждения степени бакалавра по специальности «6B07103 – Автоматизация и роботизация».

Рецензент

Доктор PhD, доцент кафедры «IT-Инжиниринг»

Иманбекова Ү. Н.

(подпись)

« 1 » июня 2023 г.



Қолданушының аты: Жүрсүратов
Подпись заверяю

Қызметі: аты-жөні
« 01. » 06 2023 ж.