

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств  
Отделение Машиностроения

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА**

Тема работы
Малогабаритный 6-и координатный манипулятор для расширения функциональных возможностей работа (КУКА) в ГАП

УДК 007-52

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ11	Аларус Раша		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Крауиньш П.Я.	Д.т.н., профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Антоневич О.А.	к.б.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОмШ	Бибик В.Л.	к.т.н.		

Томск – 2023 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

по основной образовательной программе подготовки магистров по направлению 15.04.05  
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»,  
профиль подготовки «Конструирование технологического оборудования» ИШНПТ ТПУ,  
отделение машиностроения, руководитель ООП Бибик В. Л.

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования в области конструкторско-технологической подготовки машиностроительных производств, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки исследований
ОПК(У)-2	Способен разрабатывать современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской деятельности
ОПК(У)-4	Способен подготавливать научно-технические отчеты и обзоры по результатам выполненных исследований и проектно-конструкторских работ в области машиностроения
ОПК(У)-5	Способен организовывать и осуществлять профессиональную подготовку по образовательным программам в области машиностроения
ОПК(У)-6	Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые системы автоматизированного проектирования производственно-технологической документации машиностроительных производств
ОПК(У)-7	Способен организовывать подготовку заявок на изобретения и промышленные образцы в области конструкторско-

	технологической подготовки машиностроительных производств.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы
ПК(У)-2	Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по тематике организации
ПК(У)-3	Способен осуществлять инструментальное обеспечение механосборочного цеха
ПК(У)-4	Способен разрабатывать архитектуры гибких производственных систем в машиностроении
ПК(У)-5	Способен автоматизировать и механизировать производственные процессы механосборочного производства
ПК(У)-6	Способен использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств  
Отделение Машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП/ОПОП  
\_\_\_\_\_ Бибик В.Л.  
(Подпись) (Дата) (ФИО)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
4НМ11	Аларус Раша

Тема работы:

Малогабаритный 6-и координатный манипулятор для расширения функциональных возможностей робота (КУКА) в ГАП	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ №37-49/с от 06.02.2023

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	21.05.2023
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i>	Разработка конструктивной схемы робота с параллельной кинематикой для использования при разработке роботов-манипуляторов от компании KUKA. Создайте модель механизма, проанализируйте его движение с помощью виртуальной модели в программе Pascal.
<b>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b> <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i>	Обзор литературы о производстве гибких роботов и манипуляционных роботах компании KUKA, конструкции роботов с параллельной кинематикой, вывод координат перемещения толкателей.

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Концептуальные чертежи деталей машин, схемы анализа машин и виртуальные модели.
---	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Маланина Вероника Анатольевна
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Алексеевна
Английский язык	Тайдонова Светлана Сергеевна

**Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:**  
«Обзор литературы и результаты программирования на Pascal»

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	06.02.2023
---	------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Крауиньш Пётр Янович	д.т.н., профессор		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ11	Аларус Раша		

### ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

#### «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
---------------	------------

4НМ11	Аларус Раша
-------	-------------

<b>Школа</b>	Новых производственных технологий	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	Машиностроение
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</b>	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет проекта – не более 100000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 250000 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4 баллов из 5.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Ставка отчислений на социальные нужды – 30,2% от ФОТ.</i>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Потенциальные потребители результатов исследования</li> <li>– Анализ конкурентных технических решений</li> <li>– SWOT-анализ</li> </ul>
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Структура работ в рамках научного исследования</li> <li>– Основная заработная плата</li> <li>– Отчисления во внебюджетные фонды</li> <li>– Накладные расходы</li> <li>– Формирование бюджета затрат научно-технического проекта</li> </ul>
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Оценка сравнительной эффективности проекта</li> </ul>
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. «Портрет» потребителя результатов НТИ</li> <li>2. Сегментирование рынка</li> <li>3. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>4. Матрица SWOT</li> <li>5. График проведения и бюджет НТИ</li> <li>6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ</li> </ol>	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень,</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
------------------	------------	------------------------	----------------	-------------

		<b>звание</b>		
Доцент ОСГН	Маланина Вероника Анатольевна	к.э.н., доцент		01.04.2023

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4НМ11	Аларус Раша		01.04.2023

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4НМ11	Аларус Раша

<b>Школа</b>	ИШНПТ	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделение Машиностроения
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Тема ВКР: Малогабаритный 6-и координатный манипулятор для расширения функциональных возможностей робота (КУКА) в ГАП

:Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»

<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования: Пятиосевой параллельный механизм</i>  <i>Область применения: машиностроение, Гибкие производственные системы</i>  <i>Рабочая зона: офисное помещение</i>  <i>Размеры помещения: 3*8</i>  <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: стол, стул, ПЭВМ</i></p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Организация рабочего места должна удовлетворять требованиям СанПин 2.2.3670-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда"</li> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-7 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования</li> <li>– ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Анализ выявленных вредных факторов: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Повышенный уровень шума.</li> <li>– Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.</li> <li>– Отклонение показателей микроклимата.</li> <li>– Электромагнитные поля промышленных частот.</li> </ul> </li> <li>2) Анализ выявленных опасных факторов: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Электрический потенциал</li> <li>– Повышенное образование электростатических зарядов.</li> </ul> </li> </ol> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: звукоизоляция помещений, соблюдение нормативных шумовых характеристик на рабочих местах, оборудование помещений защитным заземлением, наличие регламентированных перерывов.  Расчет: расчет системы искусственного освещения</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</b></p>	<p>Воздействие на литосферу: утилизация неисправных и устаревших ПЭВМ.  Загрязнения атмосферы и гидросферы не обнаружено.</p>



<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения</u></b>	Возможные ЧС: пожар; обрушение каркаса здания; взрыв Наиболее типичная ЧС: пожар
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ11	Аларус Раша		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 105 с., 43 рис., 23 табл., 29 источников, 3 прил.

Ключевые слова: Автоматизация производства , гибкость , Гибкое автоматизированное производство , Гибкая производственная система , Роботизированные технологические комплексы, Роботы-манипуляторы .

Объектом исследования является механизм с параллельной кинематикой с 6 осями перемещения.

Цель работы – Увеличение количества осей перемещения в роботах серии KR CYBERTECH nano от компании KUKA, которые имеют 6 осей перемещения.

В ходе работы представлена модель механизма с параллельной кинематикой с 6 осями перемещения, и с использованием языка приложений Pascal написана программа для моделирования работы механизма в частном случае представленной модели.

В результате обнаруживаем увеличение осей перемещения малонагруженных роботов-манипуляторов KUKA, а следовательно, и увеличение областей их использования.

Область применения: Гибкие производственные системы, системы транспортировки и манипулирования.

В будущем планируется изменить размеры элементов механизма, чтобы получить большее рабочее пространство.

## Оглавление

<b>1 Литературно обзор.....</b>	<b>15</b>
1.1 Определение и компоненты гибких производственных систем.....	15
1.2 Структура гибких автоматизированных производственных систем .....	16
1.3 Классификация гибких производственных систем .....	18
1.4 Роботы в гибких производственных системах .....	20
1.4.1 Основные схемы планировки роботизированных технологических комплексов .....	20
1.4.1.1 Схемы индивидуального обслуживания оборудования в РТК .....	21
1.4.1.2 Схемы группового обслуживания оборудования РТЛ и РТУ .....	22
1.4.1.3 Схемы индивидуального и группового выполнения операций в РТК.....	26
1.5 Компания KUKA.....	27
1.5.1 Классы промышленных роботов KUKA .....	28
1.5.2 Роботы KUKA серии KR CYBERTECH nano .....	29
1.6 Обзор механизма с параллельной кинематикой.....	32
<b>2. механизм с параллельной кинематикой.....</b>	<b>37</b>
2.1 Элементы механизма с параллельной кинематикой.....	37
2.2 Принцип действия механизма с параллельной кинематикой.....	40
2.3 Описание и пояснения к программе для моделирования кинематики механизма с параллельной кинематикой.....	41
2.3.1 Вывод уравнение для вычисления координат рабочей части толкателей .....	41
2.3.2 моделирования кинематики механизма с параллельной кинематикой .....	49
<b>3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....</b>	<b>54</b>
3.1 Предпроектный анализ.....	54
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	54
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений .....	54
3.1.3 SWOT-анализ .....	55
3.2 Инициация проекта.....	57
3.2.1 Цели и результат проекта.....	57
3.2.2 Ограничения и допущения проекта .....	58
3.3 Планирование управления научно-техническим проектом .....	59
3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	59
3.3.2 Бюджет научного исследования .....	61
3.3.3 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ.....	61
3.3.4 Расчет амортизационных отчислений .....	62
3.3.5 Основная заработная плата исполнителей .....	62
3.3.6. Отчисления во внебюджетные фонды .....	64

3.3.7 Накладные расходы .....	65
3.3.8 Формированию бюджета затрат .....	65
3.4 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	66
3.5 Заключение.....	67
4 Социальная ответственность.....	68
Введение .....	68
4.1.Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	68
4.1.1.Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	68
4.1.2.Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.....	69
4.2 Производственная безопасность .....	70
4.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов.....	72
4.2.1.1 Отклонение показателей микроклимата.....	72
4.2.1.2 Превышение уровня шума .....	73
4.2.1.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	73
4.3 Экологическая безопасность.....	79
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	80
4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований .....	80
4.4.2 Анализ возможных ЧС, которые могут возникнуть в помещении при разработке .....	80
Заключение по разделу.....	81
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	82
Приложение А (справочное).....	85
Приложение Б.....	100

## Введение

Традиционные производственные линии изначально строились для массового производства определенного вида продукции, и поскольку затраты на их строительство были относительно большими, и потребовалось несколько лет работы, чтобы окупить постоянные затраты на традиционную производственную линию, построить производственную линию для малого или среднего производства было нелогично и очень дорого [2].

Технологическое развитие, появление станков с ЧПУ, промышленных роботов, развитие систем измерения и управления позволили нам задуматься о новых методах производства, радикально отличающихся от традиционных методов и средств производственного процесса, и поэтому начала зарождаться концепция гибкого автоматизированного производства ГАП [2].

**Автоматизация производства** означает сокращение участия человеческого фактора в производственном процессе за счет использования в производственном процессе станков с ЧПУ, особенно универсальных станков или так называемого обрабатывающего центра, а также использования технологий и компьютеров в оперативном планировании, контроле и управлении производством [2].

Автоматизация обеспечивает снижение потребности в труде и производственного травматизма, повышение производительности труда и улучшение условий производства [2].

Автоматизация на самом высоком уровне сводит роль человека к контролю и управлению производственным процессом без непосредственного контакта с продуктом, это называется **беспилотным производством** [3].

**Концепция гибкости**, которая в основном означает гибкость в быстром реагировании на внезапные изменения и легком, точном и оперативном переходе к производству новых продуктов при сохранении производительности, экономической эффективности, надежности и точности исполнения в заданных пределах при переходе от одного стабильного состояния к другому [2].

Свойство **гибкости** достигается за счет автоматизации производственной системы, и наибольшую эффективность гибкого автоматизированного производства можно получить, если автоматизирован весь производственный процесс, начиная с использования программ автоматизированного проектирования для создания идеи продукта и вплоть до продажи продукта, включая автоматизацию процессов проектирования, хранения и транспортировки материалов, отходов, инструментов, процессов измерений, диагностики, устранения дефектов и неисправностей, а также всех

инженерных работ, необходимых для продолжения производства и производство приобретает высокую эффективность с точки зрения качества и затрат [3].

# 1 Литературно обзор

## 1.1 Определение и компоненты гибких производственных систем

Гибкое автоматизированное производство **ГАП** в общем виде состоит из следующих автоматизированных систем: **технологической, транспортной, складской, контроля и управления** [3].

**1) Автоматизированная технологическая система:** включает все машины, оборудование и роботов, которые обрабатывают заготовки (такие как механическая обработка, сварка, покраска, сборка и т.д.), а также все вспомогательное оборудование и инструменты для завершения процесса обработки, такие как роботы и оборудование, загружающие инструменты и заготовки на станок и извлекающие их из станка. и передача продуктов между машиной и следующей машиной.

**2) Автоматизированная транспортная система:** включает обычные транспортные средства и роботов для соединения технологической автоматизированной системы со складами и, следовательно, отвечает за перемещение заготовок, полуфабрикатов и готовых изделий, а также отработанных инструментов между этими двумя системами.

**3) Автоматизированная складская система:** автоматически выполняет процесс хранения инструментов, изделий, заготовок, контейнеров и прочего при входе на склад и выходе из него.

**4) Автоматизированная система контроля:** контролирует техническое состояние управляющих устройств, оборудования, машин и техническое состояние продукции и включает в себя контрольное оборудование, оборудование для контроля качества и диагностику неисправностей.

**5) Автоматизированная система управления:** Компьютер, который организует работу предыдущих четырех систем, следит за их техническим состоянием и контролирует производственный процесс в целом, и рассматривается для гибкой производственной системы как мозг . [3]

Отметим, что технологическая, контролирующая, транспортная и складская системы взаимодействуют непосредственно с продукцией, поэтому вместе они образуют так называемую **исполнительную систему**.

## **1.2 Структура гибких автоматизированных производственных систем**

Упомянутые ранее пять базовых систем предусмотрены при проектировании ГАП с применением принципа модулей - блока, который образует строительные блоки структуры гибких производственных систем которые проиллюстрированы ниже [2].

ГАП представляет собой цех или завод-автомат, включающий в себя ряд ГПС, каждая из которых специализируется на том или ином виде обработки [3].

**Гибкая производственная система (ГПС)** - состоящая из одного или нескольких гибких технологических и транспортно-складских комплексов (ГТК и ТСК), объединенных компьютеризованным управляющим диспетчерским комплексом (КУДК), работающих независимо таким образом, чтобы достичь цели сведения к минимуму участия человеческого труда и цели быстрой реакции на переход к производству новых продуктов [3].

**Гибкий технологический комплекс (ГТК)** - состоит из нескольких гибких технологических модулей (ГОМ) и ячеек (ГОЯ), которые выполняют однотипную технологическую обработку или обрабатывают однотипные детали, и по одному блоку каждого складского, транспортного, контрольно-управленческого комплекса [2].

Гибкие технологические комплексы, имеющие одинаковое или сходное технологическое назначение и обслуживаемые единой производственной командой, вместе образуют **гибкий технологический участок (ГТУ)** [2].

**Гибкий технологический модуль (ГОМ)** определяется как обрабатывающий станок с необходимыми стационарными инструментами и оборудованием для загрузки станка заготовками и распаковки с него готовой продукции [2].

**Гибкие технологические ячейки (ГОЯ)**, определяются как набор обрабатывающих станков с инструментами, оборудованием и автоматизированными роботами, которые загружают станок заготовками, распаковывают из него готовую продукцию, удаляют отходы имеющая возможность автоматизированной переналадки на различные изделия ограниченного класса.

**Транспортно-складской комплекс (ТСК)** - совокупность взаимосвязанных автоматических транспортных и складских устройств и средств вычислительной техники, предназначенных для организации движения материальных и сопровождающих их информационных потоков в ГПС.

И если транспортно-складской комплекс включает Комбинированных (транспортно-манипуляционных) роботов, то транспортно-складской комплекс достигнет цели гибкости и называется **(ГТСК)** [2].



Транспортно-складской комплекс включает гибкий транспортный модуль (**ГТМ**) и складской модуль (**СМ**) [2].

Гибкий транспортный модуль включает всех роботов, движущиеся рельсы и устройства, которые организуют транспортировку инструментов, продуктов и отходов между складским модулем **СМ** и технологическими комплексами. А складской модуль осуществляет процесс приема и доставки инструментов, первичных продуктов (полуфабрикатов) и готовой продукции [2].

Отметим, что роботы могут работать в гибких системах как основное технологическое оборудование, например, выполняя сварочные, сборочные и другие операции, или как вспомогательное оборудование для гибкого производства.

Вспомогательными роботами в технологической автоматизированной системе являются **роботы-манипуляторы**, а роботы в автоматизированной складской системе являются **транспортные- роботы**, и могут существовать **Комбинированные (манипуляционно-транспортные) роботы**, которые являются общими для этих двух систем , тогда транспортно-складской комплекс достигнет цели гибкости и называется (**ГТСК**) [3].

На рисунке 1.1 показаны компоненты системы ГПС .



Рисунок 1.1 – Компоненты системы ГПС

Пример ГПС показан на рисунке 1.2, который взят с завода Vought Aerospace в Далласе, США. Эта система используется для обработки примерно 600 различных компонентов самолета с помощью ГПС с восемью горизонтальными обрабатывающими центрами с ЧПУ, а также инспекционными модулями. Автоматизированные управляемые

транспортные средства используются в качестве первичной и вторичной систем транспортировки материалов. В системе есть две станции загрузки и разгрузки, на обеих из которых установлены карусели, позволяющие хранить детали на поддонах до и после производства. Эта система обрабатывает последовательность отдельных, единственных в своем роде деталей в непрерывном режиме, поэтому полный набор компонентов для одного самолета может быть изготовлен эффективно .

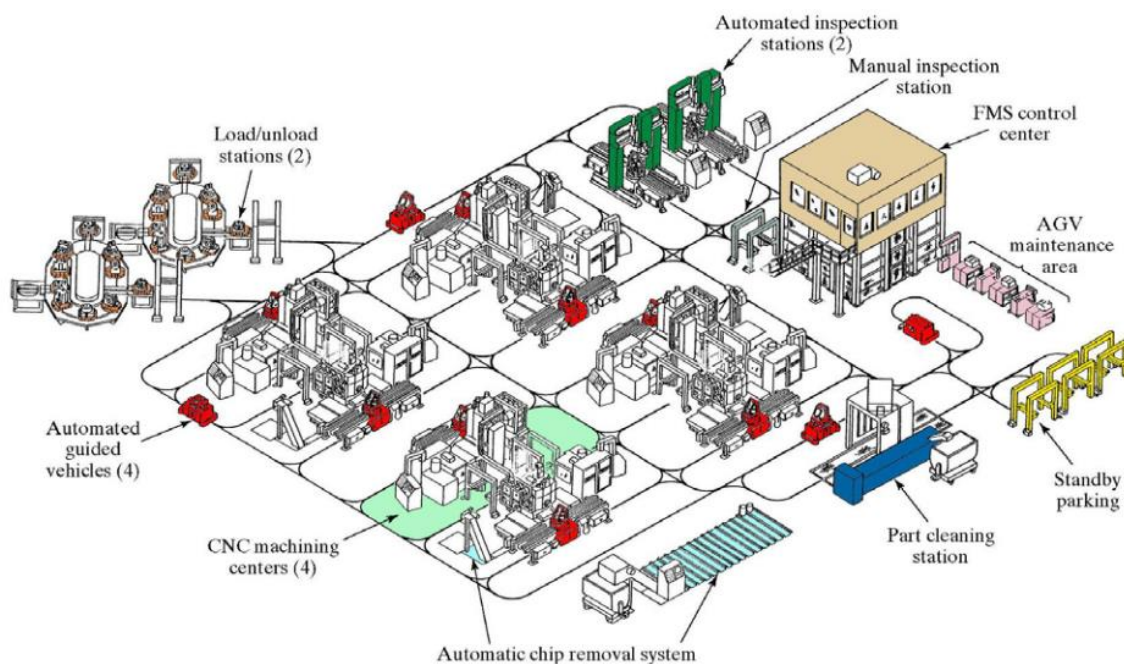


Рисунок 1.2 – ГПС на заводе Vought Aerospace

### 1.3 Классификация гибких производственных систем

Устанавливаются классификационные группировки гибких производственных систем по следующим признакам классификации: комплектности изготовления изделий; методам обработки, формообразования, сборки и контроля; разновидности обрабатываемых изделий; уровню автоматизации [1].

1) комплектности изготовления изделий :

В соответствии с критерием комплектности изготовления изделий ГПС включают группы, указанные в таблице 1.1 [1].

Таблица 1.1 – Классификация ГПС по комплектности изготовления изделий

<b>операционная</b>	выполняет одну или несколько операций
<b>предметная</b>	изготавливает сборочные единицы
<b>узловая</b>	делает комплект сборочных единиц и собирает их в единый узел

2) методам обработки, формообразования, сборки и контроля (это весьма широкий круг работ, в которые входят и такие, как литье, раскрой металла, ковка, обработка резанием, сборка, нанесение покрытий и т. д. ) [1].

3) разновидности обрабатываемых изделий:

В соответствии со стандартом разновидности обрабатываемых изделий ГПС включают группы, указанные в таблице 1.2 [1].

Таблица 1.2 – Классификация ГПС по разновидности обрабатываемых изделий

<b>высокой гибкости</b>	Номенклатура продукции, приведенная на один обрабатывающий модуль, превышает 100 наименований. Затраты времени на переналадку для обработки новой детали в пределах группы не более 10 % полезного фонда времени работы
<b>средней гибкости</b>	Номенклатура продукции, приведенная на один модуль, 20-100 наименований, затраты времени на переналадку 20 %
<b>малой гибкости</b>	Номенклатура — до 20 наименований; затраты времени на переналадку более 20 %

4) уровню автоматизации:

В соответствии со стандартом уровня автоматизации ГПС включают уровни, указанные в таблице 1.3 [1].

Таблица 1.3 – Классификация ГПС по уровню автоматизации

1-й уровень автоматизации	автоматизированная переналадка при изготовлении освоенных изделий
2-й уровень автоматизации	автоматическая переналадка при изготовлении освоенных изделий
3-й уровень автоматизации	автоматизированная переналадка при переходе на изготовление новых изделий

Следует отметить, что ГПС не могут заменить все традиционные виды производств, их области применения широки, но вместе с тем не беспредельны. Промежуточное положение между массовым и индивидуальным видами производства занимают ГПС [2].

#### **1.4 Роботы в гибких производственных системах**

Большое разнообразие роботов и возможность их участия в основных процессах и вспомогательных процессах производственного процесса, а также их способность перемещаться для выполнения других операций со всей гибкостью и легкостью и без необходимости в дополнительных средствах, сделали роботов одним из важнейших средств автоматизации гибких производственных систем [3].

РТК – это совокупность технологического оборудования, промышленных роботов **ПР** и средств оснащения, автономно функционирующая и осуществляющая многократные циклы [3].

Состав и структура роботизированных технологических комплексов **РТК** определяется содержанием автоматизированного производственного процесса, то есть видом и объемом выпускаемой продукции, типом используемого технологического оборудования, способом организации его обслуживания, режимом подачи материалов, инструментов и оборудования, способом управления процессом производства [4].

##### **1.4.1 Основные схемы планировки роботизированных технологических комплексов**

Основные схемы компоновки роботизированных технологических комплексов, используемых самостоятельно или в составе системы позиционирования, по количеству и типу технологического оборудования, обслуживаемого роботами, делятся на три группы:

- 1) Схемы индивидуального обслуживания оборудования в РТК;
- 2) Схемы группового обслуживания оборудования РТЛ и РТУ;
- 3) Схемы индивидуального и группового выполнения операций в РТК. [4]

### 1.4.1.1 Схемы индивидуального обслуживания оборудования в РТК

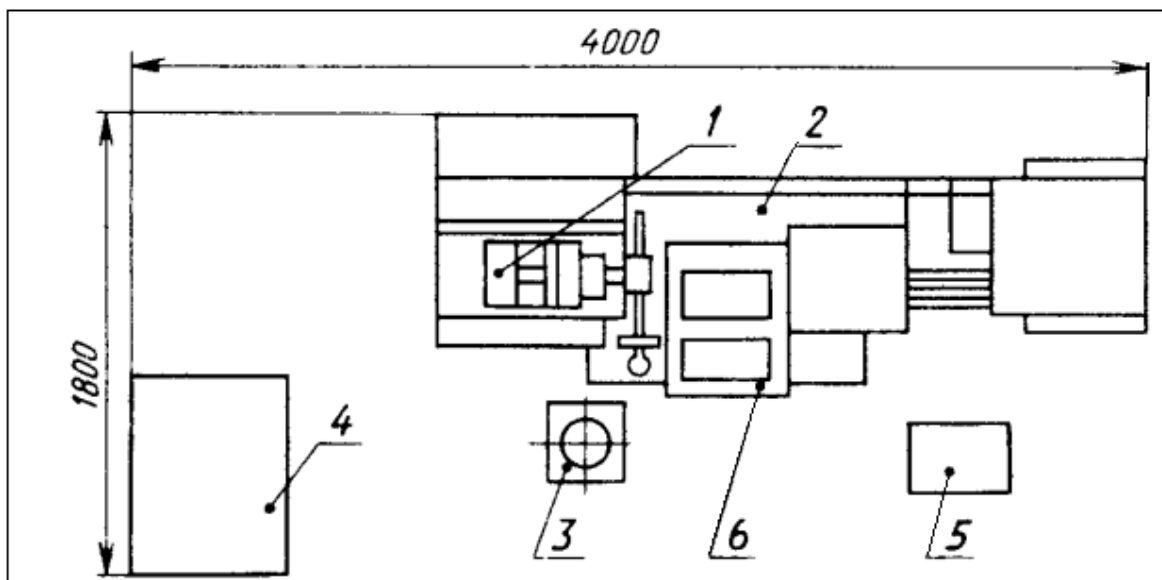
В этой группе один или несколько промышленных роботов обслуживают одно из технологических оборудований.

Заготовки транспортируются со склада в фиксированное промежуточное место с помощью автоматизированных средств, а затем робот транспортирует заготовки из промежуточного места к месту обработки.

Проектирование промышленных роботов этой группы осуществляется одним из следующих способов :

- 1) промышленный робот разрабатываются как часть технологического оборудования ;
- 2) промышленный робот устанавливаются в рабочей зоне роботов и рядом с технологическим оборудованием;
- 3) промышленные роботы устанавливаются в рабочей зоне технологического оборудования.

Например, на рисунке 1.3 ПР конструктивно встроен в токарный станок, и роль робота заключается в загрузке станка из положения выдачи заготовок вибробункерного устройства [4].

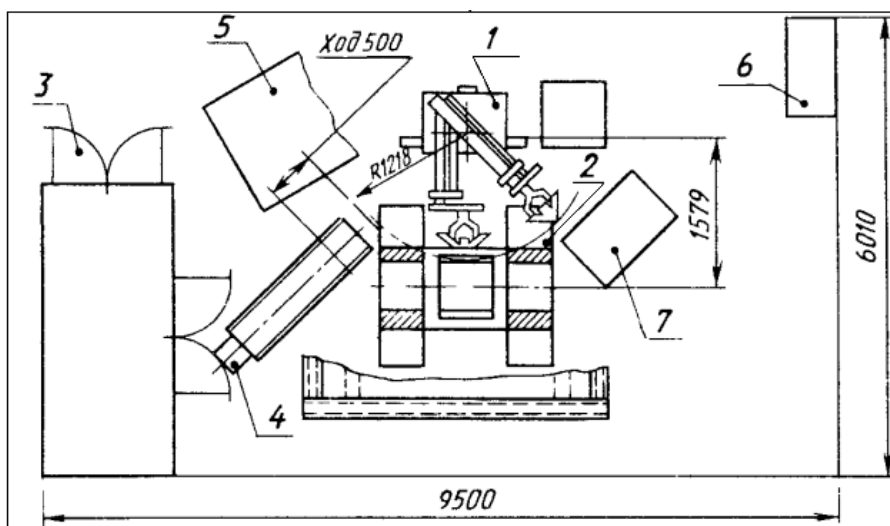


1- ПР, Ритм 0,1; 2 - токарный станок с ЧПУ 1И61ПМФ3; 3 - вибробункер; 4,5 - устройство ЧПУ станка и пр; 6- тара для деталей

Рисунок 1.3 – РТК для комплекса для токарной обработки заготовок типа тел вращения

Другой пример, на рисунке 1.4 показан робот напольного типа имеет двурукое исполнение.

Робот перемещает заготовки из промежуточного положения (устройство подающее) в обрабатывающую машину, а затем перекладывает готовые изделия в тара [4].



1 - ПР КМ10ц4201; 2 - пресс КА5530; 3 - установка для В4 нагрева; 4 - устройство подающее (шиберное); 5 - блок питания; 6 - устройство управления ПР; 7 - тара для изделий

Рисунок 1.4 – РТК для штамповки заготовок на прессе с нагревом в высокочастотной установке

#### 1.4.1.2 Схемы группового обслуживания оборудования РТЛ и РТУ

**РТЛ** - это группа оборудования, организованного в соответствии с принятой технологической последовательностью операций, обслуживаемых одним или несколькими промышленными роботами.

**РТУ** - это группа оборудования, которое обслуживается одним или несколькими промышленными роботами и с возможностью изменения последовательности выполнения технологических процессов.

Оборудование может быть размещено в схемах компоновки РТЛ и РТУ в соответствии с двумя различными типами компоновки:

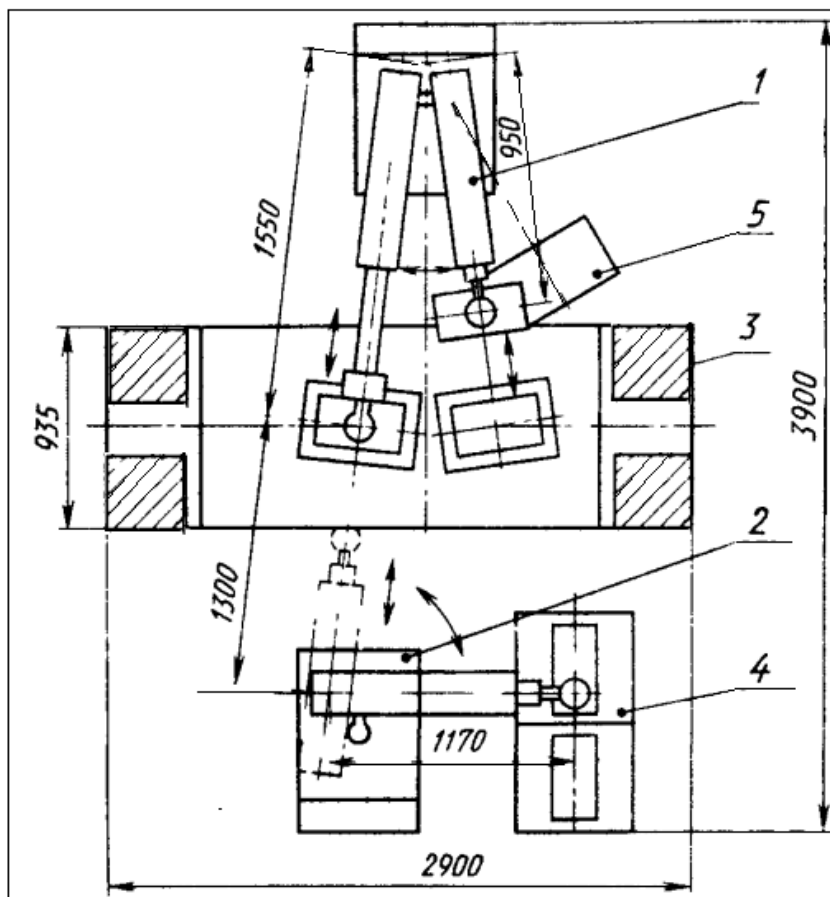
- 1 - круговое расположение;
- 2-линейное (последовательное или параллельно-последовательное).

На рисунке 1.5 показана схема планировки роботизированной технологической линии для холодной штамповки мелких деталей, которая содержит двух роботов, один из которых является одноруким промышленным роботом, а другой - двухруким промышленным роботом.

Два робота последовательно выполняют следующие операции:

- 1- однорукий робот транспортирует заготовки из магазинного накопителя в штамп пресса;

2. одной рукой двурукого ПР готового изделия из штампа в тару ;
- 3-затем, используя вторую руку двурукого робота, переносит заготовки из штампа вытяжки в чеканочный штамп прессы [4].



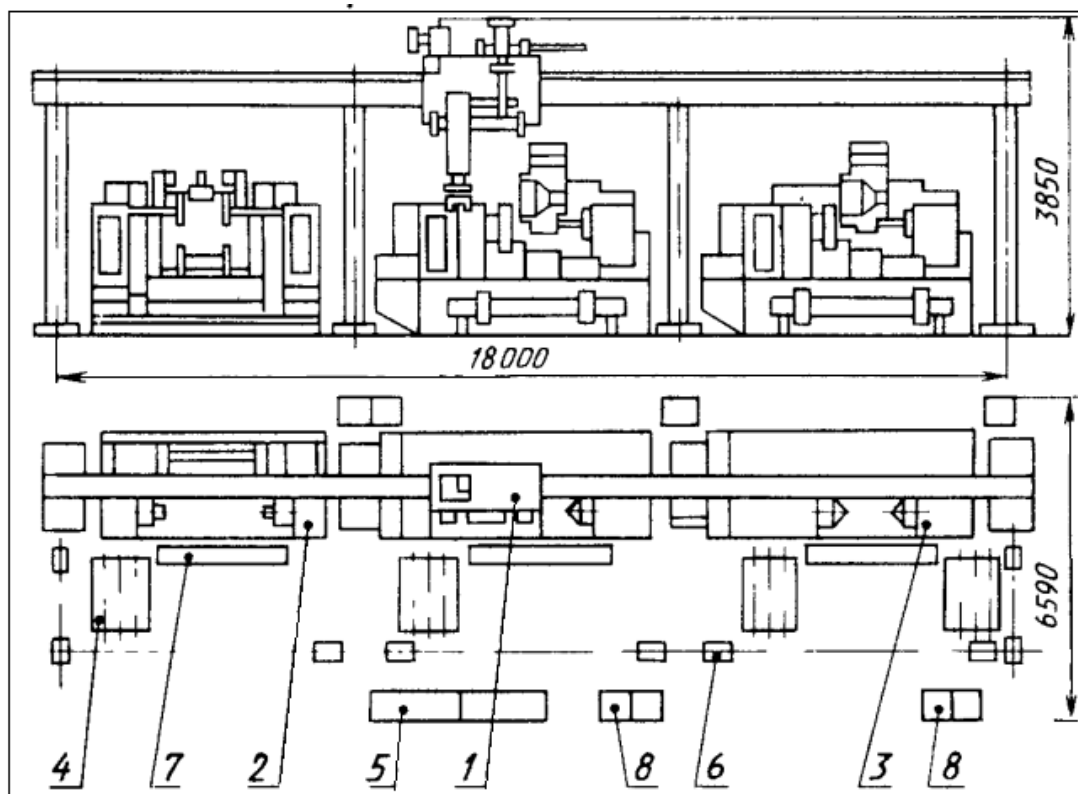
1 - пР Рпг-1м(двурукий); 2 - ПР РПГ-1М(однорукий); 3 - пресс мод. Д160/2000 ; 4 - накопитель магазинного типа ; 5 – тара

Рисунок 1.5 – Схема планировки роботизированной технологической линии для холодной штамповки мелких деталей

На рисунке 1.6 показана схема роботизированная технологическая линия для обработки заготовок типа валов , которая содержит промышленного робота-манипулятора, установленному над технологическим оборудованием с ЧПУ (фрезерно-центровальный и Два токарных станка) , которое расставлено в линию.

Робот в составе РТЛ выполняет последовательно следующие операции:

- 1) загрузку станков заготовками;
- 2) снятие заготовок и их межстаночное транспортирование с установкой на промежуточную позицию;
- 3) поиск заготовок и раскладку готовых деталей в магазине . [4]



1 - ПР УМ160Ф2 81.01; 2 - фрезерно-центровальный станок МР73М; 3- токарный станок с ЧПУ 1740РФ3; 4 - магазин заготовок или деталей; 5 - устройство ЧПУ ПР; 6 - система светозащиты линии ограждения; 7- промежуточная позиция; 8- устройство ЧПУ станка

Рисунок 1.6 – Роботизированная технологическая линия для обработки заготовок типа валов последовательно

На рисунке 1.7 показана схема планировки роботизированного технологического участка для обработки заготовок типа валов на трех токарных станках с ЧПУ при последовательном или последовательно-параллельном выполнении операций.

ПР в составе участка выполняет следующие операции:

1. загрузку и разгрузку станков;
2. снятие заготовки с одной из трех позиций накопителя;
3. транспортирование заготовок к станкам, а готовых деталей - от станков на конвейер [4].

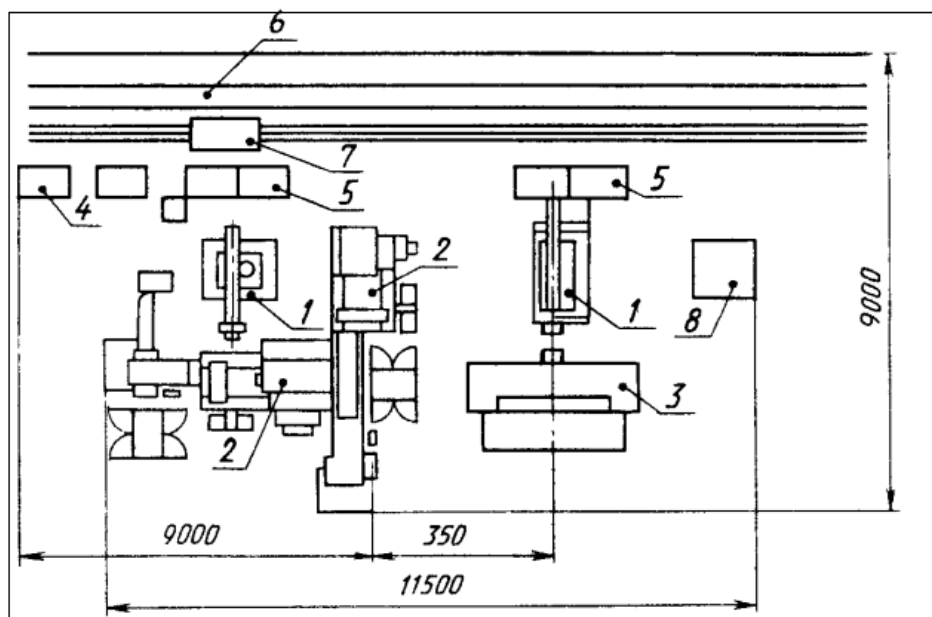
РТЛ и РТУ могут включать в себя несколько РТК, связанных между собой транспортными средствами и единой автоматизированной системой управления, как показано на рисунке 1.8.

на рисунке 1.8 показана схема планировки роботизированного технологического участка для комплексной обработки заготовок типа дисков и фланцев на трех токарных станках с ЧПУ, объединенных в два роботизированных комплекса.

Первый РТК состоит из двух токарных станков мод. СЕ062.10 и обслуживающих их ПР, а второй РТК состоит из станка мод. АТМ РБ001.01 и ПР.

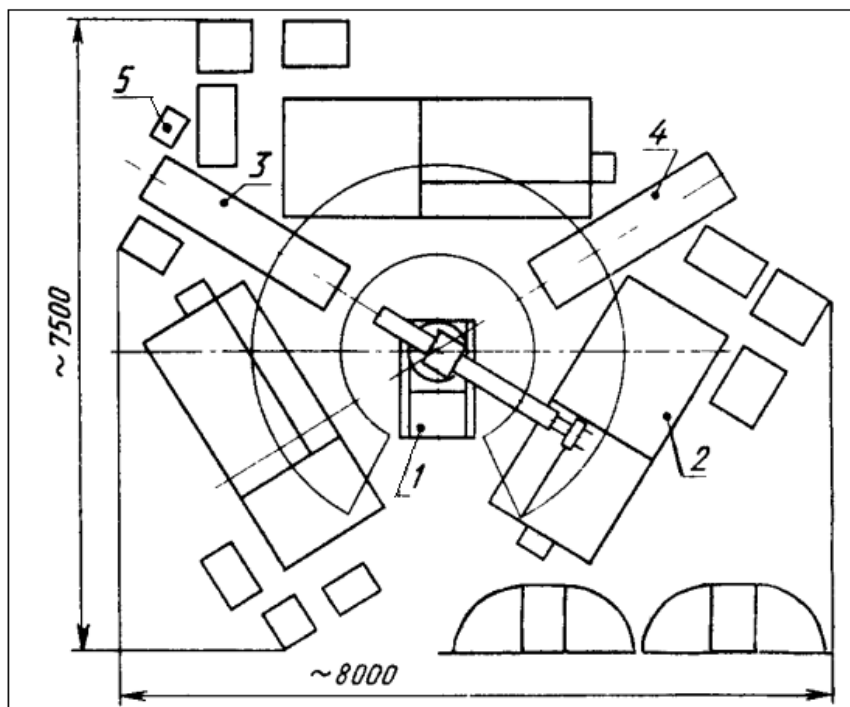


Робот в составе каждого РТК осуществляет загрузку и разгрузку станков заготовками. [4]



1 - ПР РБ-211(НРБ); 2 - токарный станок с ЧПУ SE062.10; 3 - токарный станок АТМ Р5001.10; 4 - станция приемная; 5- накопитель столов-спутников; 6- автоматизированный склад ; 7 - кран-штабелер; 8 - позиция контроля деталей

Рисунок 1.7 – Схема планировки роботизированного технологического участка для обработки заготовок типа валов



1 - ПР PRO-30(ЧССР); 2 - токарный станокс ЧПУ 1725Ф3; 3-питатель 3 позиционный; 4 - конвейер-накопитель деталей ; 5- устройство управления участком.

Рисунок 1.8 – Схема планировки роботизированного технологического участка для комплексной обработки заготовок типа дисков и фланцев

### 1.4.1.3 Схемы индивидуального и группового выполнения операций в РТК

Именно в этой группе планируется РТК, используемый для выполнения основных технологических операций (сварка, сборка, термообработка, покраска и другие).

Либо в виде индивидуального выполнения одного завершеного технологического процесса, либо передачи промышленным роботом, как показано на рисунке 1.9, где два робота выполняют основную операцию -нанесение эмали путем автоматического распыления их пистолетом в специальной камере, в то время как операции транспортировки и обслуживания выполняются шаговым конвейером.

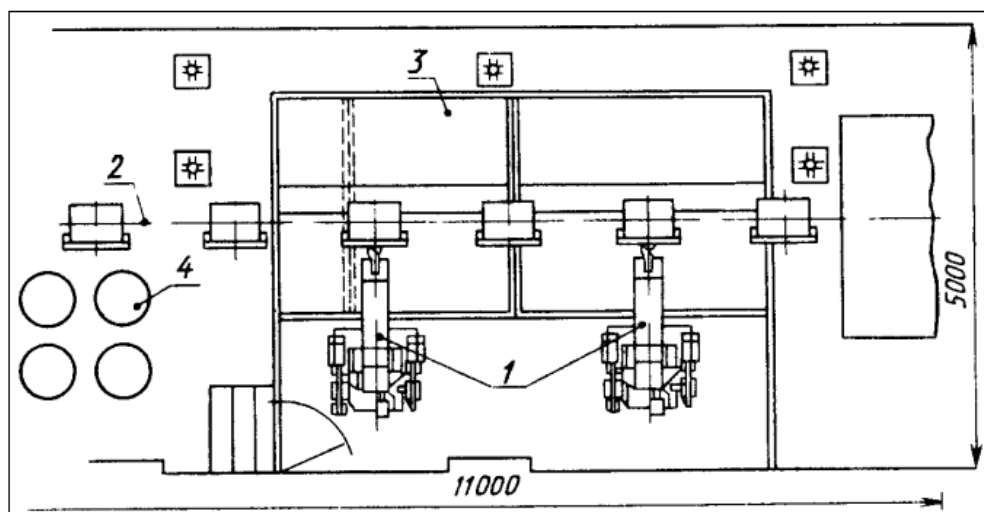
Или групповое выполнение операции несколькими промышленными роботами одного технологического назначения или разных технологических назначений.

На рис 1.10 показана схема планировки роботизированной технологической линии для обработки комплектов магнитопроводов для трансформаторов и дросселей из деталей.

Передвижной ПР напольного типа, последовательно выбирает детали комплекта из каждой тары и укладывает их на монтажный стол, оснащенный шаблоном.

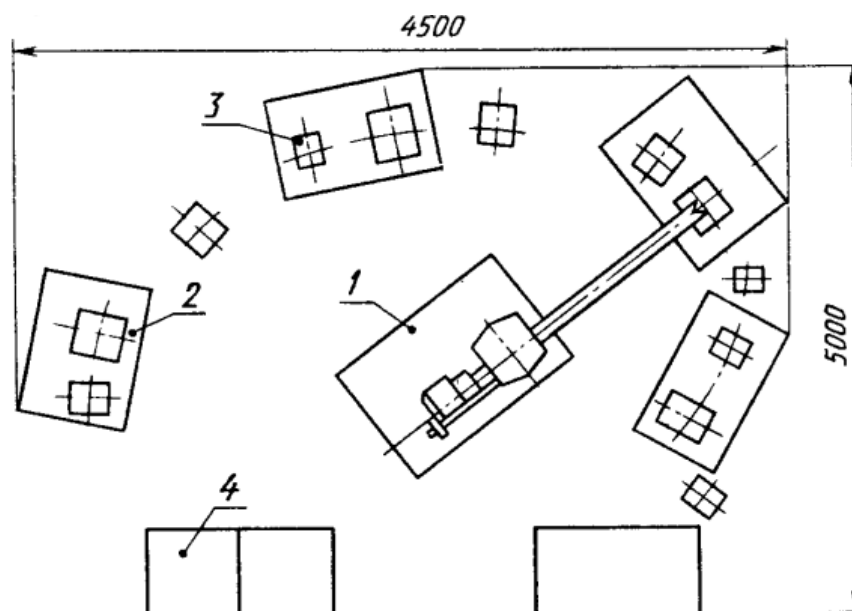
Потом ПР перемещается к следующему монтажному столу, где происходит сборка очередного комплекта.

Обслуживание монтажных столов роботом осуществляется в заданной последовательности.



1 - ПР PR-32(ЧССР); 2 - конвейер подвесного типа ; 3- камера распыления эмали; 4-резервуар керамических эмалей

Рисунок 1.9 – Схема робототехнического комплекса для нанесения керамических эмалей на детали



1 - ПР РБ-231(НРБ); 2 - стол монтажный с шаблоном; 3-тара с деталями ; 4 - устройство управления ПР0

Рисунок 1.10– Схема планировки роботизированной технологической линии для обработки комплектов магнитопроводов

## 1.5 Компания KUKA

Компания KUKA - ведущая мировая немецкая технологическая компания, основанная в 1898 году как завод по производству ацетиленовых установок для производства недорогих светильников уличного освещения.

Затем ее деятельность начала расширяться, поскольку она внедрила несколько инноваций в области служебных транспортных средств (муниципальных) и сварочных технологий, таких как автогенная сварка, **кратковременная сварка, позиционированная ,фрикционная сварка и магнитно-дуговой сварки** трением.

После этого компания kuka начала дополнительные виды деятельности, такие как упаковочные машины, текстильное производство, пишущие машинки и военное оборудование.

В 1973 году история KUKA началась как пионера в области **FAMULUS Robotics**, первого в мире промышленного робота с шестью электромеханическими осями.

В 1996 году KUKA стала первым производителем роботов, использовавшим открытую систему управления, основанную на компьютере. В 2007 году на рынке появился CR Titan: это самый большой и мощный шестиосевой промышленный робот в

мире, грузоподъемностью 1000 кг и радиусом действия 3200 мм. Он занесен в Книгу рекордов Гиннеса.

В 2013 году KUKA выпустила новое поколение роботов. Предлагая LBR iiwa, KUKA представляет первого в мире легкого робота, так называемого sensitive robot со встроенными в каждую ось датчиками, который используется на основе сотрудничества человека и машины.

Благодаря продолжению и расширению своей деятельности kuka стала одной из ведущих мировых компаний в области автоматизации [5].

#### **Продукты KUKA:**

Основными продуктовыми направлениями KUKA являются:

- 1) Робототехнические системы ;
- 2) Производственные машины ;
- 3) Производственные системы KUKA ;
- 4) Мобильность;
- 5) Технологические процессы [5].

### **1.5.1 Классы промышленных роботов KUKA**

На рисунке 1.11 показаны модели различных классов роботов **KUKA**



Рисунок 1.11 – Классы промышленных роботов KUKA

В таблице 1.4. показана максимальная загрузка классификационных категорий промышленных роботов от KUKA и области их использования: [5]

Таблица 1.4 – максимальная загрузка классификационных ПР от KUKA

<b>классы промышленных роботов KUKA</b>	<b>Максимальная грузоподъемность</b>	<b>Области применения</b>
<b>Небольшая нагрузка</b>	до 10 кг	для сборки компонентов в электронной промышленности, высокоточной обработки, крепления винтами, склеивания, упаковки и проверки
<b>Небольшая нагрузка</b>	5-20 кг	Р для прецизионного применения в условиях непрерывного производства, таких как дуговая сварка, нанесение клеев и герметиков
<b>Средняя нагрузка</b>	30-60 кг	Серия роботов для работы в экстремальных условиях литейного производства, малярных, сварочных и погрузочно-разгрузочных работ
<b>Высокая нагрузка</b>	80-300 кг	надежное, универсальное и эффективное решение для любой производственной среды
<b>Сверхмощные роботы</b>	300-1300 кг	Манипулирование, погрузка и разгрузка; Сварка и пайка; Сталелитейные производства; Обработка; резка; Механическая обработка; Крепление; Вставка, установка; сборки/разборки; Металлорежущие станки
<b>Специальные модели</b>	<b>PA</b> – серия роботов для укладки груза на поддоны — паллетайзеры. <b>LBR iiwa</b> – коллаборативный робот, который может работать совместно с человеком. <b>OmniMoveKUKA</b> - транспортная платформа для тяжелых грузов. <b>KUKA Triple Lift</b> — это мобильная подъемная платформа для работы на высоте до восьми метров с максимальной нагрузкой 1000 кг. <b>Линейные кинематические системы и Портал лазерной резки.</b>	

### 1.5.2 Роботы KUKA серии KR CYBERTECH nano

Роботы серии KR CYBERTECH nano с инновационными введениями достигли высоких характеристик в сочетании с высокой производительностью среди роботов невысокой грузоподъемностью.

Предназначен для различных погрузочно-разгрузочных работ, перемещения мелких деталей, **сборки** и укладки на паллеты.

Роботы этой серии отличаются легким весом и небольшими габаритами, и поэтому их можно устанавливать в различных местах производственной среды.

В этой серии есть три версии, которые являются :

- NANO KR 6 R1820 рис 1.12 ;
- NANO KR 8 R1620 рис 1.13;
- NANO KR 10 R1420 рис 1.14 [5].

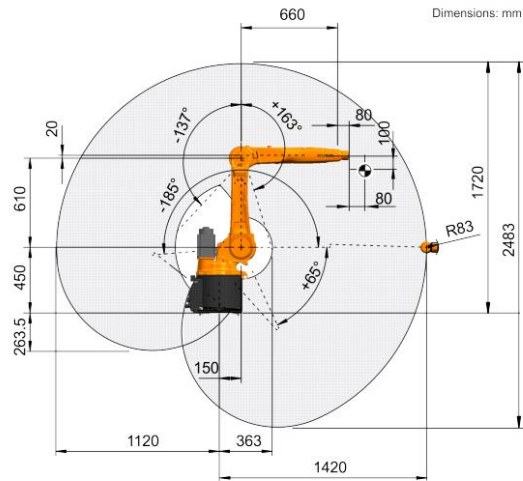


Рисунок 1.12 – Рабочая зона робота NANO KR 6 R1820

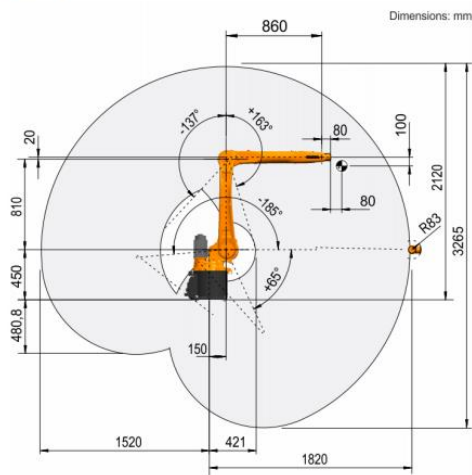


Рисунок 1.13 – Рабочая зона робота NANO KR 8 R1620

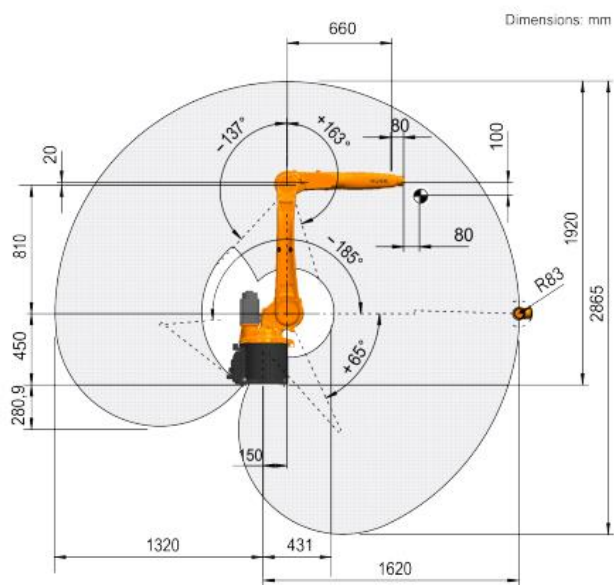


Рисунок 1.14 – Рабочая зона робота NANO KR 10 R1420

каждый из них имеет шесть осей движения (шесть степеней свободы вращения), которые допускают вращение в соответствии с данными, приведенными в таблице 1.5 .

Таблица 1.5 – Данные по осям для роботов KUKA серии kr CYBERTECH nano

<b>Данные по осям</b>	
Диапазон перемещения	
A1	±170 °
A2	-185 ° / 65 °
A3	-137 ° / 163 °
A4	±185 °
A5	±120 °
A6	±350 °
Скорость при номинальной грузоподъемности	
A1	220 °/s
A2	210 °/s
A3	270 °/s
A4	381 °/s
A5	311 °/s
A6	492 °/s

В таблице 1.6 приведены наиболее важные характеристики роботов **KR CYBERTECH nano**

Таблица 1.6 – характеристики роботов KR CYBERTECH nano

	<b>Nano KR 6 R1820</b>	<b>Nano KR 8 R1620</b>	<b>Nano KR 10 R1420</b>
<b>Количество осей</b>	6	6	6
<b>Максимальный радиус действия</b>	1820 мм	1620 мм	1420 мм
<b>Полезная нагрузка, кг</b>	6	8	10
<b>Монтажное положение</b>	на полу, потолке, стене, под углом	на полу, потолке, стене, под углом	на полу, потолке, стене, под углом
<b>Система управления</b>	KR C4	KR C4	KR C4
<b>Стабильность повторяемости</b>	±0,04 мм	±0,04 мм	±0,04 мм
<b>Вес</b>	Прибл. 165 kg	Прибл. 168 kg	Прибл. 160kg

Различные механизмы сборки и захвата могут быть установлены на конце робота, как показано на рисунке 1.15, через фланец в соответствии со следующей конструкцией рис 1.16:



Рисунок 1.15 – Захватный механизм, установленный на конце роботов серии kr CYBERTECH nano

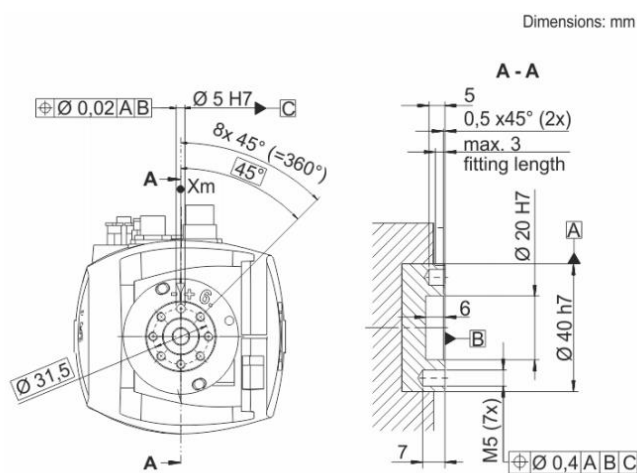


Рисунок 1.16 – Монтажный фланец

## 1.6 Обзор механизма с параллельной кинематикой

механизмы с параллельной кинематикой представляют собой замкнутый механизм, в котором конечный исполнительный элемент (подвижная платформа) соединен с основанием (неподвижной платформой) по меньшей мере двумя независимыми кинематическими цепями.

Между базовой и концевой эффекторными платформами расположены последовательные цепи (называемые конечностями или ножками).



Комбинации полностью параллельного манипулятора и дополнительной последовательной оси называются гибридными системами [6].

Но ясно, что технология не смогла справиться с какими-либо практическими применениями такого рода механизмов по нескольким причинам, в том числе, во-первых, с самого начала их появления стало ясно, что реализация их теоретических возможностей на практике порождает множество новых проблем. Вторая причина - это психологические аргументы, такие как: недоверие к новой технологии со странным внешним видом, нежелание быть первым, кто попробует новую технологию, отсутствие приемлемых критериев оценки пользователями ценности станков с параллельным приводом. Кроме того, существуют очень враждебные мнения о технологии станков с параллельным приводом. Якобы эта концепция уступает серийным машинам и практически бесполезна [6].

В 50-х и 60-х годах прошлого века параллельные механизмы типа “гексапод” или “Нехарод” рис 1.17 а использовались в симуляторах движения: машине для испытания шин рис 1.17б и авиасимуляторе [6].

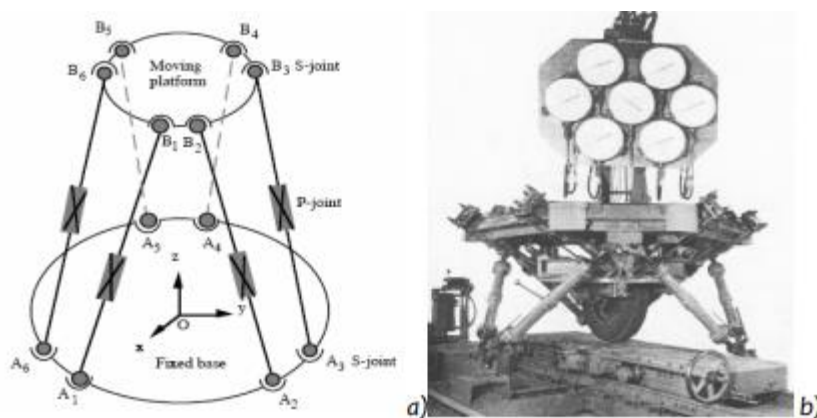


Рисунок 1.17 – а) Параллельный механизм типа “ Нехарод ” б) Шиномонтажный тестер Гофа

Еще в 60-х годах прошлого века обсуждалось применение таких конструкций в качестве станков, но было отвергнуто из-за отсутствия технологии управления. В 1980-х годах параллельные кинематические структуры привлекли интерес робототехнического сообщества [6].

Наиболее успешными конструкциями параллельных кинематических роботов являются дельта-робот рис 1.18, разработанный в 1980-х годах проф. Реймонд Клавель (профессор EPFL – Федеральной политехнической школы Лозанны) и робот Tricert рис

1.19, спроектированный и построенный Карлом-Эриком Нойманом в 1987 году. Обе конструкции имели коммерческий успех, и теперь их можно найти в различных отраслях промышленности [6].

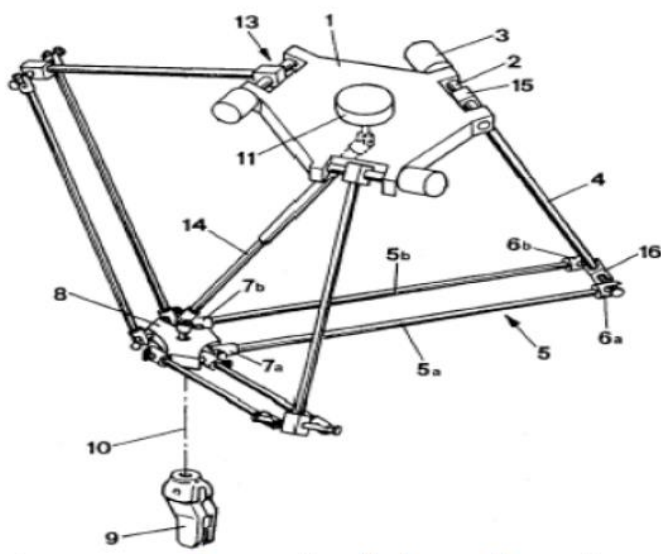


Рисунок 1.18 – Схема роботы дельта

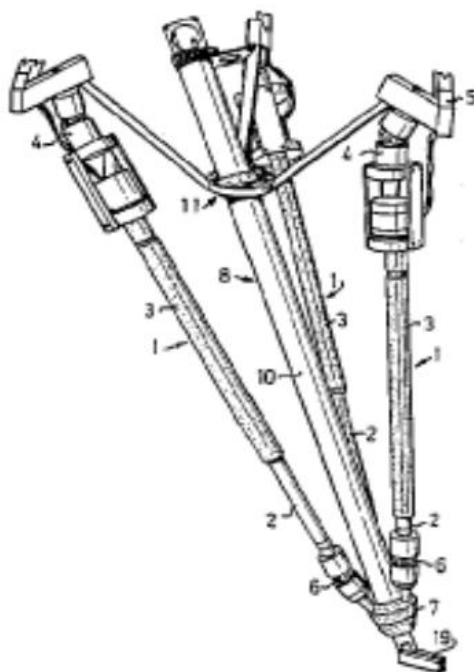


Рисунок 1. 19 – Схема роботы Tricept

Ингерсолл, Гендингс и Льюис (Ingersoll and Ginddings & Lewis )построили более 100 различных параллельных механических конструкций, в основном в качестве прототипов или академических исследований. [6]

Например, модель "Octahedral Hexapod" или , показанная на рисунке 1.20, представлена компанией Ingersoll. А модель "Variax", показанная на рисунке 1.21 , предоставлена компанией Giddings & Lewis. Этот механизм был реализован в виде платформы Gough, и его предназначением было 5-осевое фрезерование [6].

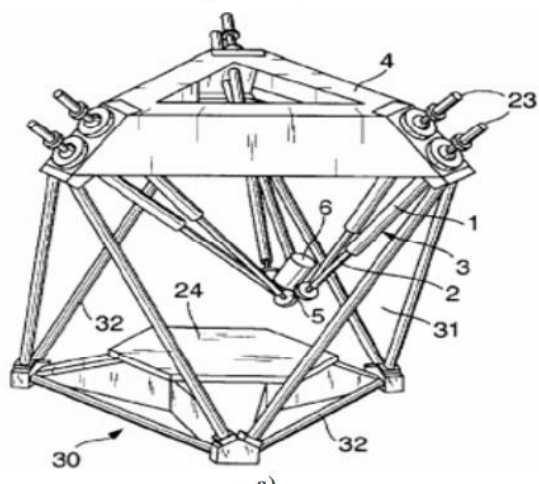


Рисунок 1.20 – Модель "Octahedral Hexapod"

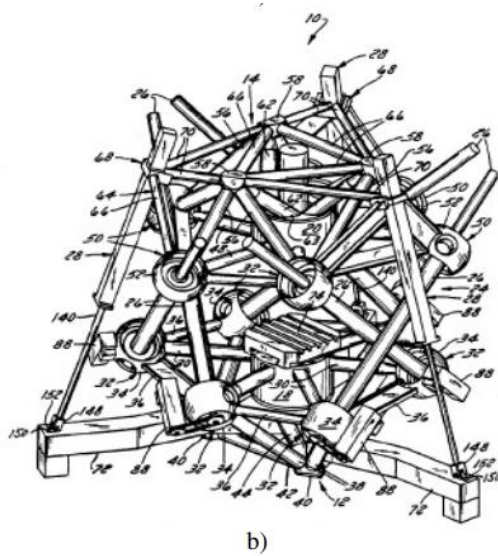
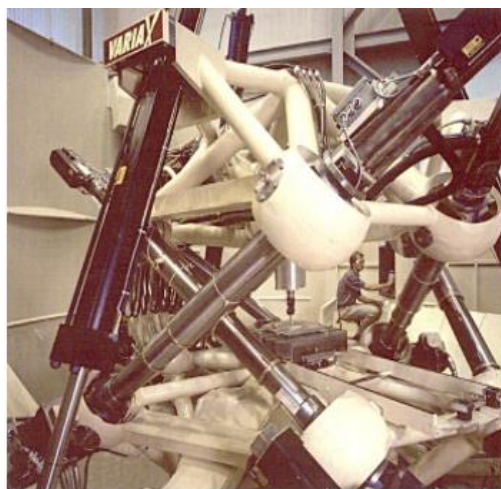


Рисунок 1. 21 – Модель "Variax"

В последующие годы в научно-исследовательских институтах и промышленности было разработано множество новых прототипов станков для фрезерования и других технологических процессов. Кроме того, было подано большое количество патентов, относящихся к машинам с параллельным двигателем [6].

Затем, с развитием области мехатроники, была разработана конструкция оборудования и технологических инструментов, и этот механизм стал использоваться при его проектировании.

Механизмы с параллельной кинематикой могут использоваться как рабочий инструмент или как измерительный инструмент (для измерительных комплексов).

Потому что этот механизм обеспечивает возможность перемещения К по сложной траектории с использованием перемещения стола, на котором установлен инструмент [7].

Одной из мировых тенденций развития робототехники является создание пространственных манипуляционных механизмов параллельной структуры. Пространственные механизмы параллельной структуры манипуляторы параллельной структуры имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными механизмами роботов. Эти механизмы обладают повышенными показателями по точности, жесткости и грузоподъемности, а приводы могут быть расположены на основании. В данных механизмах выходное звено соединено с основанием несколькими кинематическими цепями, каждая из которых либо содержит привод, либо налагает некоторое число связей на движение выходного звена. Многоподвижная замкнутая кинематическая цепь механизма приводит к уменьшению размеров и масс подвижных звеньев[7].

Механизмы с параллельной кинематикой можно классифицировать по характеру их движения на плоские, сферические и пространственные [6].

В этой диссертации представляем **концептуальный** механизма с параллельной кинематикой **с пятью степенями свободы**, предназначенного для установки в конце роботов KUKA этой серии с шестью степенями свободы, таким образом, общее число степеней свободы робота становится одиннадцатью степенями свободы.

## 2. механизм с параллельной кинематикой

### 2.1 Элементы механизма с параллельной кинематикой

Параллельный механизм рис 2.1 состоит в основном из неподвижного нижнего основания рис 2.2 - условно плоского диска, с заданными координатами в плоскости XY осей толкателей и началом неподвижной системы координат **XYZABC**.

подвижного верхнего стола рис 2.3 также имеет подвижную систему координат **xyzabc**.

шести параллельных вертикальных толкателей рис 2.4. Все центры толкателей расположены на одинаковом радиусе от начала координат основания в плоскости XY **rn** но на разных углах **fn** – (fn1,fn2,fn3..fn6).

шести шатунов рис 2.5, соединяющих концы каждого шатуна *i* между толкатель *i* с одной стороны и верхний стол с другой. Точки соединения шатунов со столом имеют одинаковый радиус **rs**, но разные углы расположения **fs** (fs1,fs2,fs3..fs6).

Каждый из толкателей приводится в действие отдельным шаговым двигателем рис 2.6.

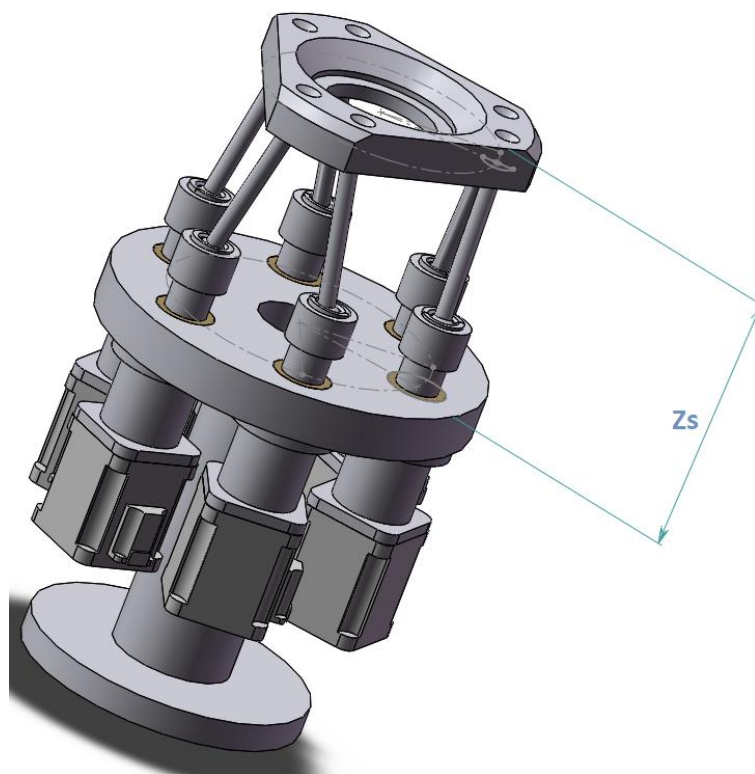


Рисунок 2. 1 – Механизм с параллельной кинематикой



Рисунок 2. 2 – Основание

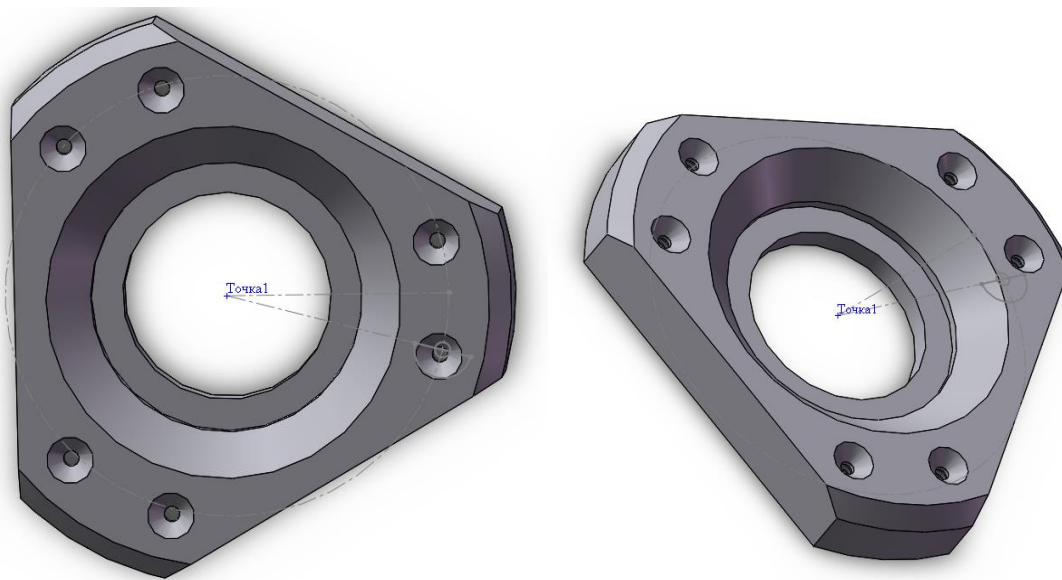


Рисунок 2. 3 – Стол

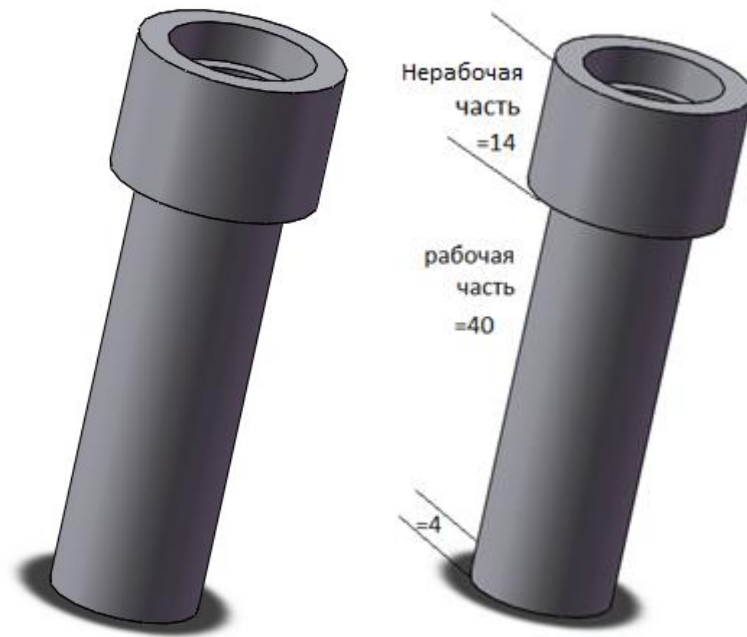


Рисунок 2. 4 – толкатель



Рисунок 2. 5 – шатун

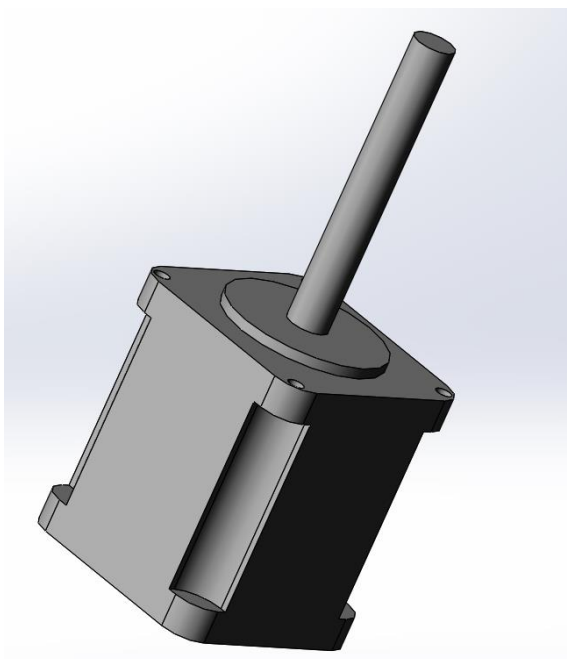


Рисунок 2. 6 –Шаговый двигатель

## 2.2 Принцип действия механизма с параллельной кинематикой

В этом механизме считаем, что центр верхнего стола является отправной точкой работы. В начальном положении стол и основание расположены по центру и параллельны.

Перемещение робота в какую-либо точку его рабочего пространства означает перемещение центра стола в эту точку, поскольку стол может линейно перемещаться в трех перпендикулярных направлениях и вращаться только вокруг двух осей.

Это делается по **следующему принципу** :

Каждый толкатель  $i$  из толкателей перемещается в только вертикальном направлении на определенную величину, так что высота толкателя от основания становится равной ( $P_{zi}+14$ ), а шатун  $i$  перемещается, и, следовательно, совместное перемещение шатунов вызывает перемещение верхнего стола таким образом, что центр верхнего стола перемещается в точку, требуемую роботом для его достижения.

Направление перемещения концов шатунов, соединенных с толкателями, конечно, соответствует вертикальному направлению, но направление перемещения их концов, соединенных со столом, связано со значениями передачи толкателей.

Вычисляются значения  $p_{zi}$  – величина высоты **рабочей части** каждого толкателя  $i$  от основания в соответствии с координатами контрольной точки (координаты текущего центра стола) и координатами желаемой точки, до которой должен добраться робот (координаты следующего центра стола) , и его максимальное значение составляет 40.



Число 14 выражает высоту головки толкателя или, другими словами, высоту нерабочей части толкателя.

## 2.3 Описание и пояснения к программе для моделирования кинематики механизма с параллельной кинематикой

### 2.3.1 Вывод уравнение для вычисления координат рабочей части толкателей

**Начальный** положение Рис 2.7 – Стол расположен параллельно основанию, и оси Z и z- в их системах координат применимы при отсутствии какого-либо перехода или поворота.

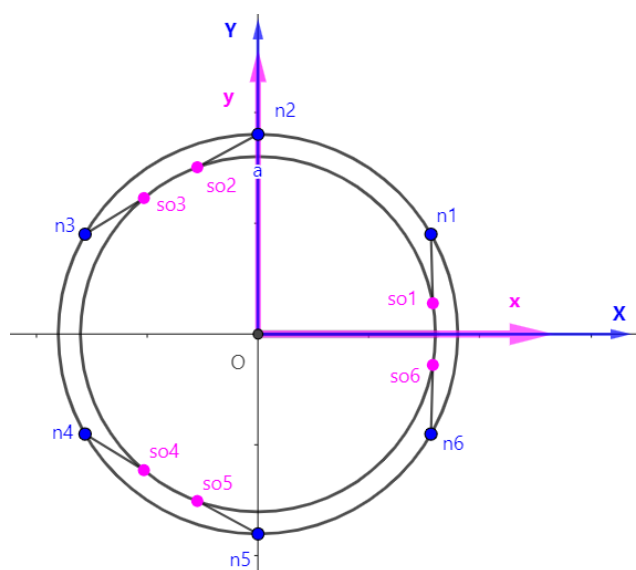


Рисунок 2.7 – Горизонтальный вид в начальном положении механизма

Координаты толкателей по осям X и Y относительно системы координат основания O(XYZABC) вычисляются по уравнению рис 2.8:

$$n[i]_x = rn \times \cos(fn_i)$$

$$n[i]_y = rn \times \sin(fn_i)$$

Где  $i=1\dots 6$  – номер толкателя ;

$fn_i$  – угловое положение толкателя номер  $i$  с положительным направлением оси X на окружности радиуса  $rn$  . И их значения, соответственно (30; 90; 150; 210; 270; -30).

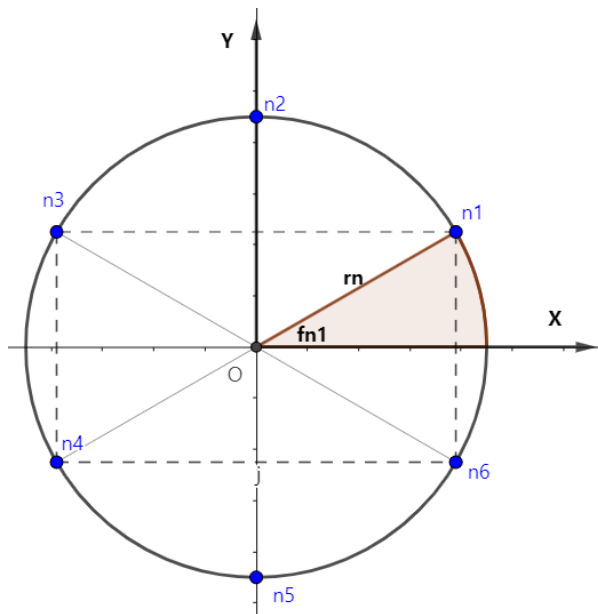


Рисунок 2. 8 – Координаты толкателей в соответствии с Y и X

Координаты концов шатунов, соединяющихся со столом, относительно системы координат стола **s(xyzabc)** рис 2.9 вычисляются по уравнению :

$$x=rs \times \cos(fs_i)$$

$$y=rs \times \sin(fs_i)$$

Где  $i$  – номер шатуна;

$fs_i$  – угловое положение шатуна номер  $i$  с положительным направлением оси  $x$  на окружности радиуса  $rs$ . И их значения, соответственно (15; 105; 135; 225; 255; -15)

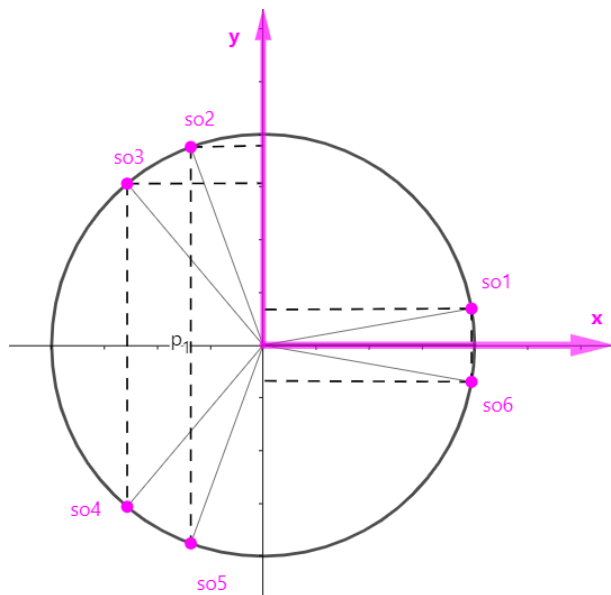


Рисунок 2.9 – Координаты концов шатунов в соответствии с Y и X в начальном положении

В случае перемещения стола - **только линейное перемещение по осям y и x** рис 2.10 , тогда координаты концов шатунов **по осям y и x** относительно системы координат основания равны :

$$S0[i]_x = rs \times \cos(fs_i) + x_s$$

$$s0[i]_y = rs \times \sin(fs_i) + y_s$$

Где  $x_s, y_s$  – Координаты центра стола относительно системы координат основания

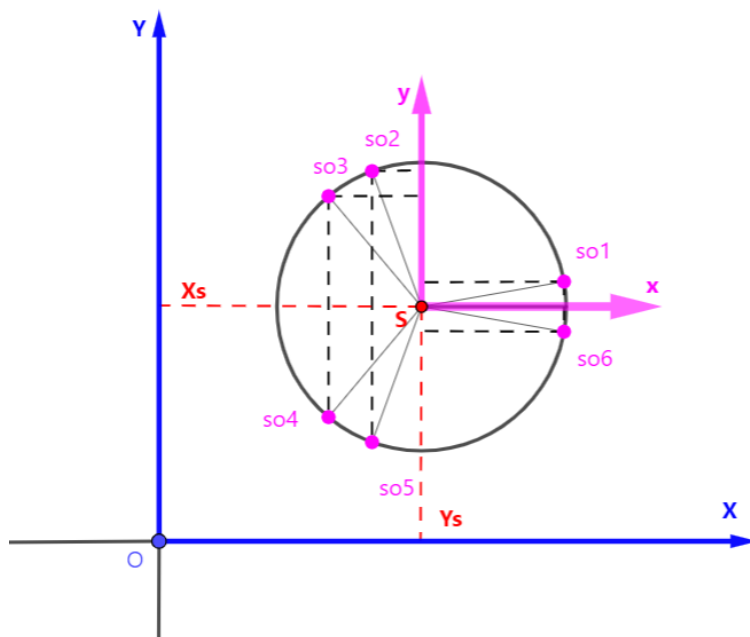


Рисунок 2.10 – Координаты концов шатунов в соответствии с Y и X

Из рисунка 2.11 видно, что координаты концов шатунов **по оси z** или, другими словами, координаты концов толкателей по оси Z в данном случае равны :

$$P_{zi} = Z_s - Z_{0i} - 14$$

$Z_i$  вычисляется в соответствии с законом Пифагора рис 2.11:

$$l_0^2 = Z_{0i}^2 + ([ni \ s0i'])^2$$

Координаты точек  $(n_i, s_{0i}, s_{0i}')$  по осям Y и X (плоскость Y-X параллельна плоскости стола и основания) относительно системы координат основания имеют определенное значение.

точка  $s_{0i}'$  - это проекция точки  $s_{0i}$  на плоскость, параллельную плоскости XY системы координат основания и проходящую от точек соединения шатунов с толкателями, и поэтому координаты этих двух точек равны в плоскости XY

$$l_0^2 = Z_{0i}^2 + ([ni \ s0i'])^2$$

$$l_0^2 = Z_{0i}^2 + \left( \sqrt{(n[i]_x - s0[i]_x)^2 + (n[i]_y - s0[i]_y)^2} \right)^2$$

$$l_0^2 = Z_{0i}^2 + (n[i]_x - s0[i]_x)^2 + (n[i]_y - s0[i]_y)^2$$

$$Z_{0i}^2 = l_0^2 - (n[i]_x - s0[i]_x)^2 - (n[i]_y - s0[i]_y)^2$$

$$Z_{0i} = \sqrt{l_0^2 - (n[i]_x - s0[i]_x)^2 - (n[i]_y - s0[i]_y)^2}$$

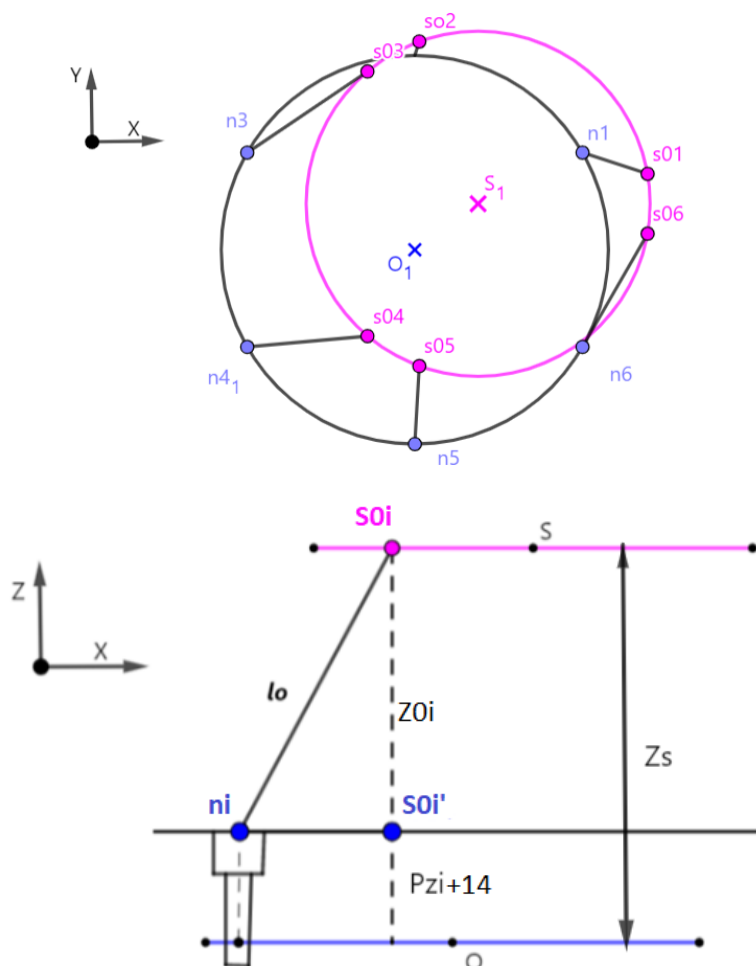


Рисунок 2. 11 – Координаты рабочей части толкателей по оси Z без поворота

В случае перемещения стола **только вращательным движением вокруг оси Y** координаты концов шатунов **изменяются только** в соответствии с осью Z.

Из рисунка 2.12 выводим изменение  $z_{ai}$  в координатах каждой из точек по оси z, возникающее только в результате вращения вокруг y :

Отмечаем, что в случае вращения против часовой стрелки координаты точек 1 и 6 по оси z положительны, координаты точек 2, 3, 4 и 5 по оси z отрицательны. А в случае вращения по часовой стрелке координаты точек 1 и 6 по оси z отрицательны, ось z отрицательна, а координаты точек 2, 3, 4 и 5 по оси z положительны.

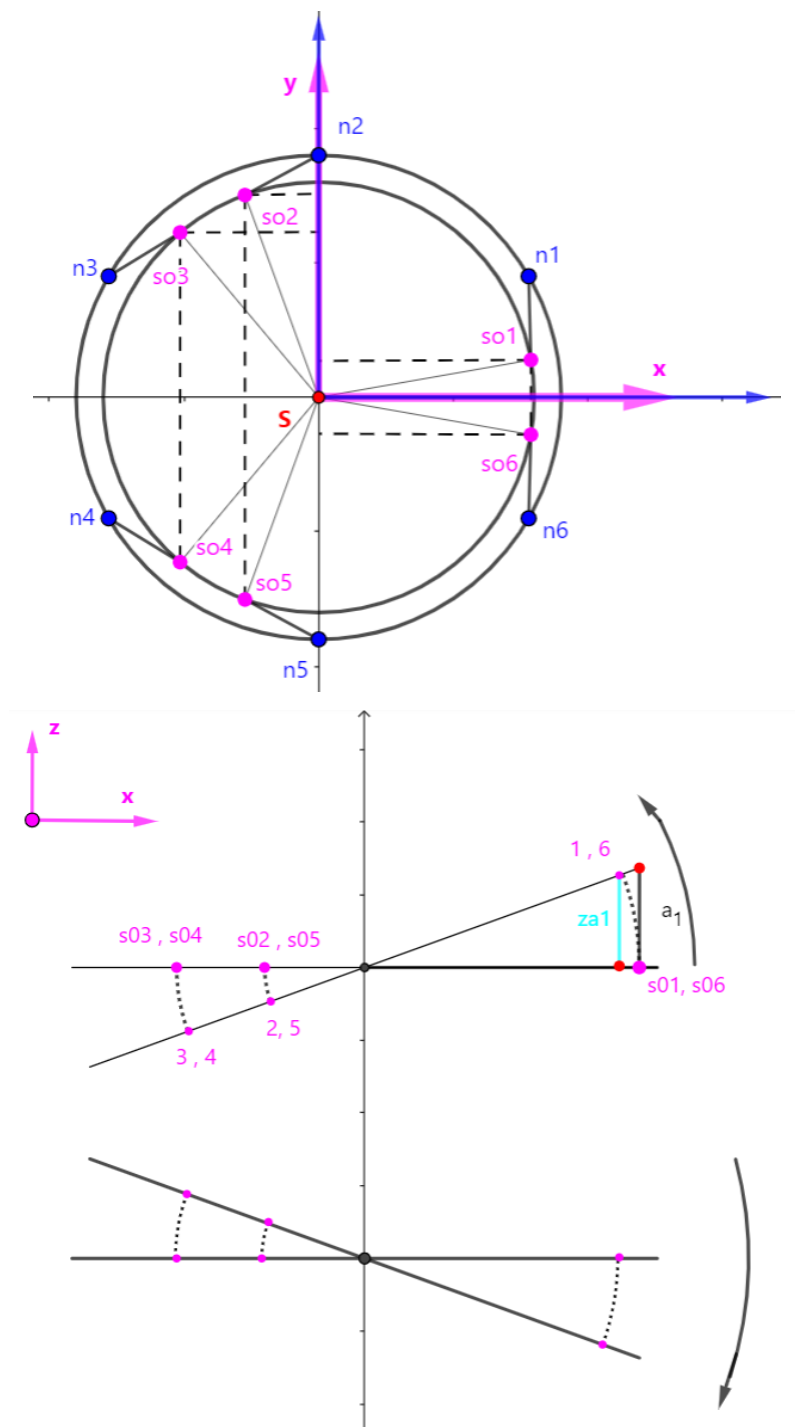


Рисунок 2. 12 – Координаты рабочей части толкателей по оси Z при вращении вокруг Y

Когда стол поворачивается на угол  $fb$ , точка  $s0i$  перемещается в точку  $si$  по дуге, показанной на рисунке 2.13, а затем координата точки вдоль оси  $z$  изменяется на  $zai$ .

Поскольку угол поворота мал, треугольник ( $si\ s0i\ S$ ) можно считать прямым углом и, следовательно, быть :

$$si_x = s0i_x \times \cos(fb)$$

Поскольку треугольник ( $S\ si\ d$ ) прямоугольный, то :

$$Z_{ai} = si_x \times \sin(fb)$$

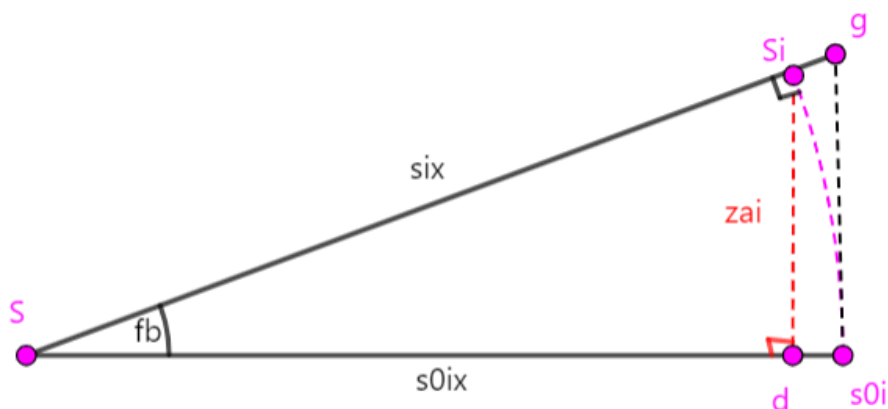


Рисунок 2. 13 – изменение оси координат  $z$ , возникающее только в результате вращения вокруг  $Y$

аналогично вышеописанному , В случае перемещения стола **только вращательным движением вокруг оси X** координаты концов шатунов изменяются **только** в соответствии с осью  $Z$ .

Из рисунка 2.14 выводим изменение  $z_{bi}$  в координатах каждой из точек по оси  $z$ , возникающее только в результате вращения вокруг  $X$  :

Отмечаем, что в случае вращения против часовой стрелки координаты точек 1 , 2 и 3 по оси  $z$  положительны, координаты точек 4, 5 и 6 по оси  $z$  отрицательны. А в случае вращения по часовой стрелке координаты точек 1 , 2 и 3 по оси  $z$  отрицательны. ось  $z$  отрицательна, а координаты точек 4, 5 и 6 по оси  $z$  положительны.

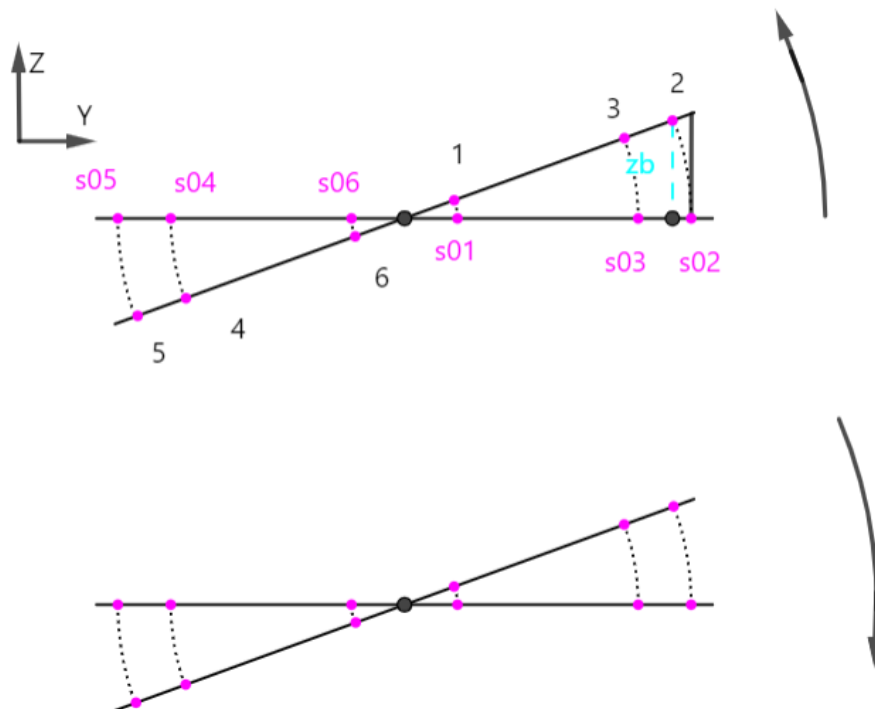
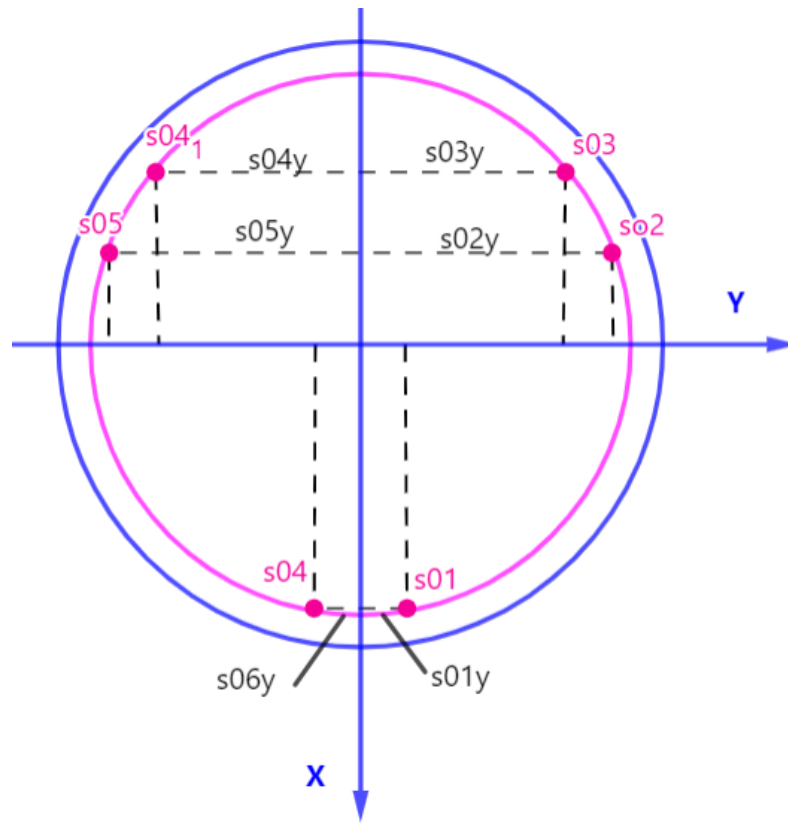


Рисунок 2. 14 – Координаты рабочей части толкателей по оси Z при вращении вокруг X

Когда стол поворачивается на угол  $\alpha$ , точка  $s0i$  перемещается в точку  $si$  по дуге, показанной на рисунке 2.15, а затем координата точки вдоль оси z изменяется на  $zb_i$ .

Поскольку угол поворота мал, треугольник (si soi S) можно считать прямым углом и, следовательно, быть :

$$s_{iy} = s_{0iy} \times \cos(f_a)$$

Поскольку треугольник (S si c) прямоугольный, то :

$$Z_{bi} = s_{iy} \times \sin(f_a)$$

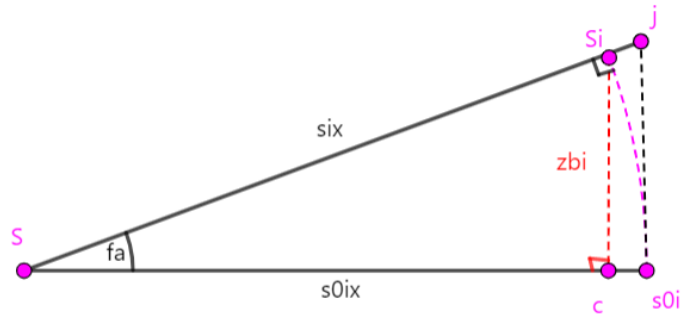


Рисунок 2. 15 – изменение оси координат z, возникающее только в результате вращения вокруг x

Из рисунка 2.16 видно, что координаты концов толкателей по оси Z в случае вращения вокруг оси X равны :

$$P_{zi} = Z_s - Z_{0i} - Z_{bi} - 14$$

А координаты концов толкателей по оси Z в случае вращения вокруг оси Y равны:

$$P_{zi} = Z_s - Z_{0i} - Z_{ai} - 14$$

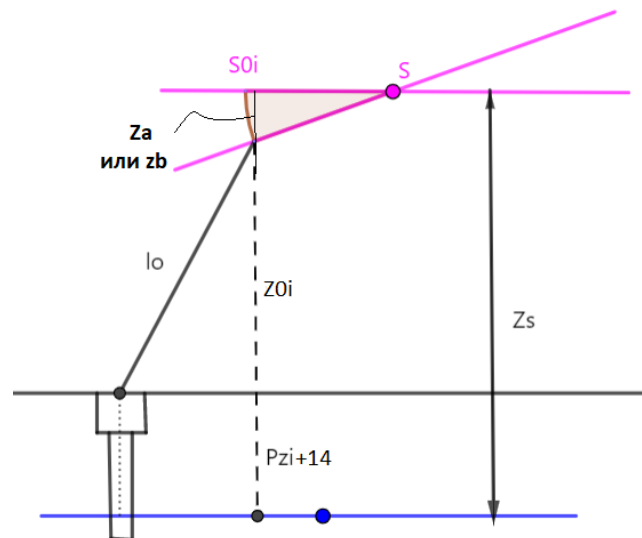


Рисунок 2. 16 – Координаты рабочей части толкателей по оси Z с поворотом



И в случае **вращения вокруг оси x и вокруг оси Y вместе**, значение общего изменения координаты z является произведением сложения значения изменения координаты z, полученного в результате вращения вокруг оси X, со значением изменения координаты z, полученного в результате вращения вокруг оси Y.

$$Z_i = Z_{ai} + Z_{bi}$$

А координаты концов толкателей по оси Z в случае вращения вокруг оси Y и X равны

$$P_{zi} = Z_s - Z_{0i} - Z_i - 14$$

### **2.3.2 моделирования кинематики механизма с параллельной кинематикой**

Используя язык программирования **Pascal**, скомпилируем простые уравнения, которые получили в разделе **2.3.1**, и получим программу, моделирующую работу параллельного механизма в программе **Pascal ABS**.

Целью этой простой программы является расчет текущих значений z-координат рабочей части толкателей **pz** в 6-ти мерной матрице **p[i]**, т.е. для шести точек стола в соответствии с координатами текущего центра таблицы и координатами точка, которой робот должен достичь.

Предположим что размер рабочей зоны по координатам, например, линейные 40 мм угловые 30 градусов. Тогда точность позиционирования по линейным координатам определится как  $100\text{мм}/6000 = <0.02\text{мм}$ , а по угловым  $30*60/6000 = <0.3$  угловых минут.

поскольку количество точек в рабочей области механизма очень велико и вычисления невозможно выполнить вручную, пишем простую программу, которая изучает часть этих точек, чтобы было проанализировано, что и как вычислять требуется и как алгоритм построен.

#### **смоделируем работу механизма с параллельной кинематикой в двух случаях :**

Первый случай: программа, которая изучает линейное перемещение стола только по определенной траектории, которая приведена в приложении Б.1.

Второй случай: программа, которая изучает линейное и вращательное перемещение стола в соответствии с определенной траекторией, которая приведена в приложении Б.2.

**Первый случай** :случай линейного движения (без вращения) стола в горизонтальной плоскости, параллельной основанию  $Z=80$ , и так, что координаты требуемых точек изменяются в соответствии с  $X$  и  $Y$  только таким образом, что его траектория рисует спираль наибольшего радиуса  $20$  и диаметра спираля уменьшается в соответствии с убывающей экспонентой.

С помощью программы, приведенной в приложении **1**, получаем текстовый документ, показывающий для  $jj= 6000$  точек (если экспоненциально убывающая константа достигает достаточного количества точек, чтобы разделить путь на  $6000$  точек) изученного траектории центра стола следующие данные в порядке, указанном в следующей таблице 2.1 :

Таблица 2.1 – Уточнение порядка следования данных в текстовом документе

Серийный номер точки (j)	Старые координаты центра стола					Новые координаты центра стола					Координаты рабочей части каждого толкателя, необходимые роботу для перемещения в новую точку					
	$x_{0s}$	$y_{0s}$	$z_{0s}$	$a_0$	$b_0$	$x_s$	$y_s$	$z_s$	$a$	$b$	$p_{z1}$	$p_{z2}$	$p_{z3}$	$p_{z4}$	$p_{z5}$	$p_{z6}$
0																
1																
:																
:																
jj																

заметим, что новые координаты центра таблицы в одной строке будут такими же, как старые координаты центра таблицы в следующей строке.

И получаем рисунок 2.17, который представляет собой график изменения значений  $p_{zi}$  в течение периода времени  $t$  для достижения исследуемого случая.

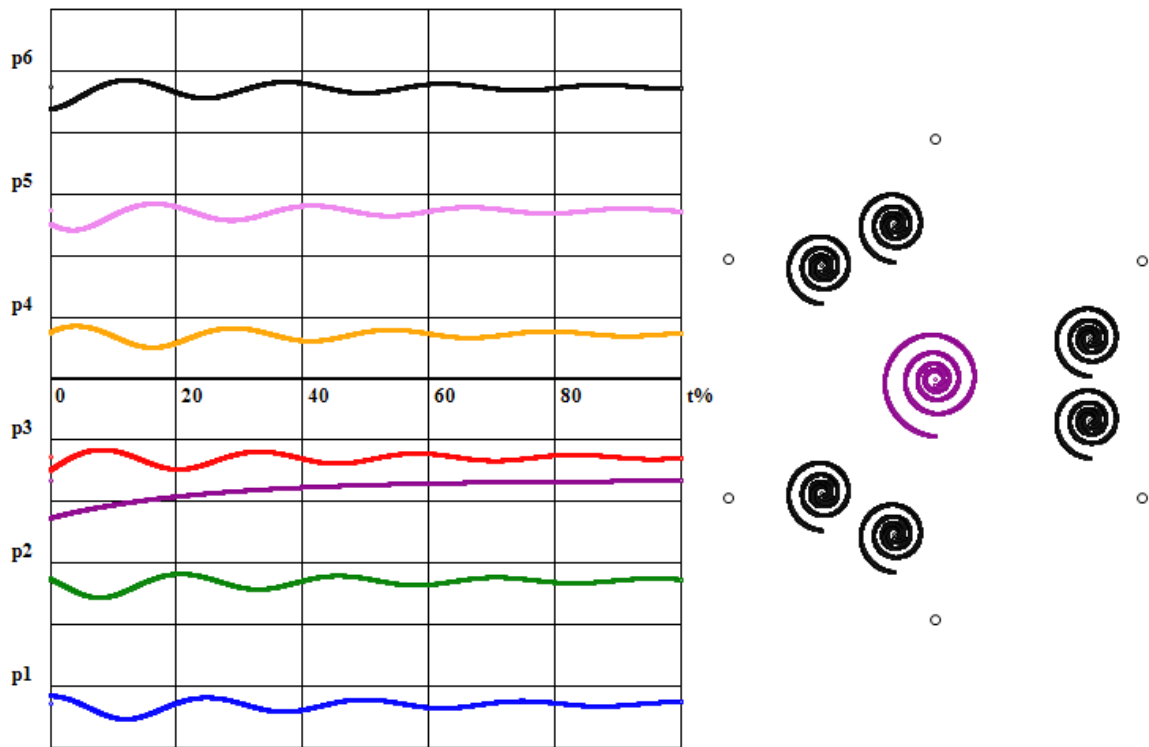


Рисунок 2.17 - График значений  $P_{zi}$  за период времени, необходимый для достижения первого случая

**отмечаем это в правой части рисунка следующие моменты:**

- 1) центр стола нарисует в плоскости  $X, Y$  и, начиная с точки  $20=X=20, Y$  и по часовой стрелке, спираль наибольшего радиуса 20 и состоящую из 4 витков.
- 2) что каждая из точек соединения шатунов со столом также рисует спираль в плоскости  $x, y$ , аналогичную спирали, нарисованной центром стола.

**И отмечаем в левой части рисунка и считывая значения координат текстового документа, следующие моменты:**

- 1) в начальной точке, где координаты центра стола равны ( $X_s=0, Y_s=0, Z_s=80, a=0, b=0$ ), то есть стол и основание центрированы и параллельны, следовательно, значение  $p_{zi}$  для каждого толкателя одинаково и равны 11,69 .

Это показано на рисунке цветными одиночными точками, расположенными на левой черной вертикальной оси .

- 2) в следующей точке, где координаты точки, которой требуется достичь роботу, или, другими словами, Новые координаты центра стола равны ( $X_s=-0,08, Y_s=19,99, Z_s=80, a=0, b=0$ ), значения  $p_{zi}$  явно меняются и являются начальными точками каждой кривой, расположенной на левой черной вертикальной оси.

Где  $p_{z1}=6,25, p_{z2}=10,67, p_{z3}=20,73, p_{z4}=10,70, p_{z5}=20,94, p_{z6}=26,88$  .

- 3) Все значения  $p_{zi}$  меньше 40, и это соответствует его максимальному значению, равному 40.
- 4) Каждая кривая  $p_{zi}$  имеет форму синусоидальных кривых с уменьшающейся амплитудой в каждом из спиральных витков, нарисованных по центру стола.
- 5) Кривая суммы значений  $p_{zi}$  в каждой исследуемой точке показывает, что сумма значений  $p_{zi}$  уменьшается экспоненциально по мере того, как координаты исследуемых точек  $X, Y$  также уменьшаются экспоненциально.

**Второй случай** :случай линейного движения (с вращением) стола в горизонтальной плоскости, параллельной основанию  $Z = 80$ , так что координаты требуемых точек изменяются в соответствии с  $X$  и  $Y$  только таким образом, что его траектория рисует спираль радиусом 20 с вращательным движением вокруг  $X, Y$  таким образом, что что угол поворота изменяется в соответствии с синусоидальным повторителем, а максимальное значение угла поворота составляло 4 градусов.

С помощью программы, приведенной в приложении 2, и аналогично предыдущему случаю также получаем текстовый документ, показывающий для  $jj= 6000$  точек изученного траектории центра стола в данном случае, те же данные и в том же порядке, как показано в первом случае.

И получаем рисунок 2.18, который представляет собой график изменения значений  $p_{zi}$  в течение периода времени  $t$  для достижения исследуемого случая.

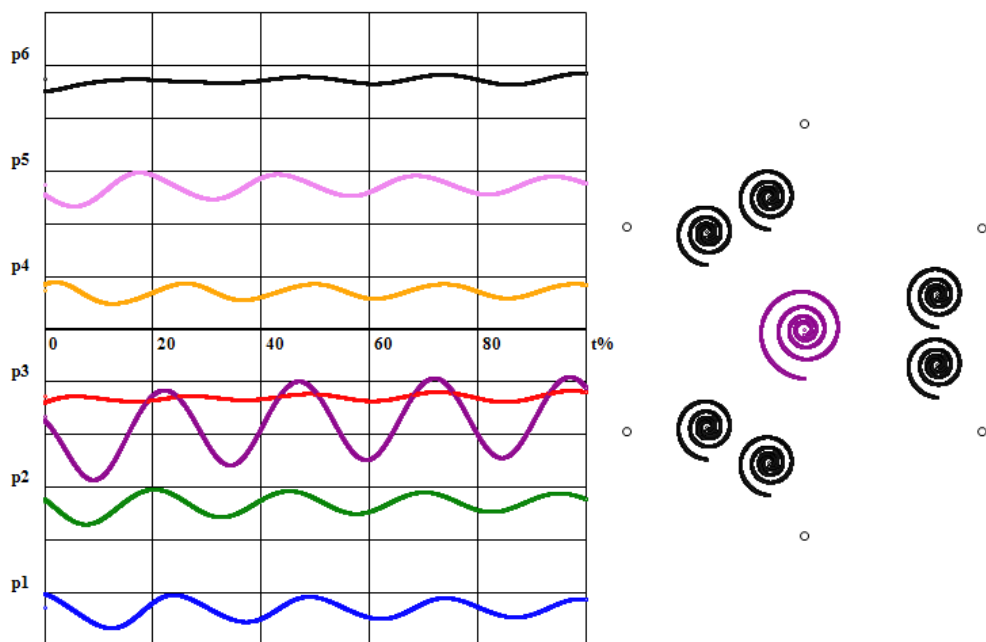


Рисунок 2.18 - График значений  $P_{zi}$  за период времени, необходимый для достижения второго случая

Вращение стола вокруг оси X или вокруг оси Y не влияет на координаты центра стола, поэтому найдем, что значения  $a$ ,  $b$  в старых координатных полях центра стола всегда равны нулю, но значения углов поворота  $a$ ,  $b$  для каждой исследуемой точки в этом случае будут написаны в новых координатных полях центра стола.

Хотя вращение таблицы вокруг оси X или вокруг оси Y не влияет на координаты центра стола. Но можем видеть, как вращение вокруг осей X и Y на очень малый угол, равный 4 градусам, может повлиять на значения  $p_{zi}$ .

**отмечаем в левой части рисунка и считывая значения координат текстового документа, следующие моменты:**

1) в начальной точке, где координаты центра стола равны ( $X_s=0$ ,  $Y_s=0$ ,  $Z_s=80$   $a=0$ ,  $b=0$ ), то есть стол и основание центрированы и параллельны, следовательно, значение  $p_{zi}$  для каждого толкателя одинаково и равны 11,69. Это показано на рисунке цветными одиночными точками, расположенными на левой черной вертикальной оси.

2) в следующей точке, где координаты точки, которой требуется достичь роботу, или, другими словами, Новые координаты центра стола равны ( $X_s=-0,08$ ,  $Y_s=19,99$ ,  $Z_s=80$   $a=0$ ,  $b=0$ ) и где таблица вращается при двух углах поворота ( $a=4^\circ$ ,  $b=-0,02^\circ$ ), значения  $p_{zi}$  явно меняются и являются начальными точками каждой кривой, расположенной на левой черной вертикальной оси.

Где  $p_{z1}=0,56$ ,  $p_{z2}=9,14$ ,  $p_{z3}=16,63$ ,  $p_{z4}=6,59$ ,  $p_{z5}=19,39$ ,  $p_{z6}=21,18$ .

3) Все значения  $p_{zi}$  меньше 40, и это соответствует его максимальному значению, равному 40.

4) Каждая кривая  $p_{zi}$  имеет форму синусоидальных кривых с уменьшающейся амплитудой в каждом из спиральных витков, нарисованных по центру таблицы. Но синусоидальные кривые толкателей (1,2,3,4,5) в этом случае имеют большие максимальные амплитуды, чем в первом случае, и поэтому их пульсации выглядят более четкими.

5) Кривая суммы значений  $p_{zi}$  в каждой исследуемой точке принимает вид синусоидальной кривой убывающей амплитуды с уменьшением диаметра спирали.

6) Кривая суммы значений  $p_{zi}$  имеет максимальную амплитуду, большую, чем максимальная амплитуда кривой суммы значений  $p_{zi}$  в первом случае.

### 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В этой работе представлен дизайн для разработки промышленных роботов производства немецкой компании KUKA из серии **kr CYBERTECH nano**, которые имеют шесть осей перемещения благодаря конструкции параллельного механизма с 5 осями перемещения, так что общее количество осей перемещения роботов составляет 11 осей о движении.

#### 3.1 Предпроектный анализ

##### 3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар или услуга.

Потенциальными потребителями подобных установок являются промышленные производства. Карта сегментирования рынка по области применения и доли рынка сбыта продукции приведена на таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Карта сегментирования рынка

Область рынка сбыта	Доля рынка, %
Автомобильная промышленность	39
Машиностроение	16
Пищевая промышленность	4
НИОКР и образование	2
Нефтехимия	1

Из приведенной карты сегментирования можно сделать вывод, что основной областью применения разработки является промышленность, там же наблюдается самая высокая конкуренция.

##### 3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Роботы KUKA серии **kr CYBERTECH nano** Предназначен для различных погрузочно-разгрузочных работ, перемещения мелких деталей, **сборки** и укладки на паллеты ,и отличаются легким весом и небольшими габаритами, и поэтому их можно устанавливать в различных местах производственной среды.

Компания FANUC предлагает целые серии роботов с различными характеристиками, способными выполнять самые разнообразные производственные задачи: дельта роботы, роботы для покраски, сварки, паллетирования, для монтажа сверху, шарнирные роботы, А также коллаборативные роботы.

Таблица 3.2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентно-способность		
		Бс	Бк1	Бк2	Кс	Кк1	Кк2
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности	0,2	5	3	2	1	0,6	0,4
2. Удобство в эксплуатации	0,2	5	3	3	1	0,6	0,6
3. Эргономичность	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
4. Надежность	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
5. Простота эксплуатации	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Цена	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
Итого:	1,0				4,5	3,9	3,3

Б1 (К1) – баллы (конкурентоспособность) проектируемого сборочного робота, Б2 (К2) и Б3 (К3) – баллы (конкурентоспособность) Роботов немецкой компании KUKA серии серии kr CYBERTECH nano и Роботов японской компании FANUC .

По оценочной карте из таблицы 1 видно, что новое устройство является конкурентоспособным, так как по многим параметрам превосходит своих конкурентов. Главными достоинствами данного управляемого стола являются: повышение производительности, компактность, надежность, простота эксплуатации.

### 3.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 3.3 – Матрица SWOT.

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Компактность. С3. Бесшумность. С4. Надежность, способность долгое время работать без ремонта.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Более высокая себестоимость. Сл2. Продукт не продавался
<b>Возможности:</b> В1. Быстрое продвижение на рынок.  В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт. В3. Усовершенствование устройства.	В1С1С2С3С4 – быстрое продвижение на рынок в связи с преимуществами данного устройства.  В2С1С2С3С4 – дополнительный спрос может появиться за счет усовершенствования устройства.	В1Сл2 – может не быть быстрого продвижения на рынок, так как редуктор ранее не продавался и потребители не знают этот продукт.  В2Сл1Сл2 – отсутствие дополнительного спроса из-за несовершенства устройства.
<b>Угрозы:</b>		
У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Кризис. У3. Введение дополнительных государственных требований к	У2С1С2С3С4 – возможность конкурировать в связи с хорошими показателями основных характеристик	У1Сл1 – высокая себестоимость может существенно снизить продажи данного продукта.



сертификации продукции со стороны государства.		
--	--	--

Таблица 3.4 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта			
		C1	C2	C3	C4
Возможности проекта	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+
	B3	0	0	0	0

На основании SWOT-анализа составляем интерактивную матрицу проекта, дающую общее представление о возможных вариантах стечения благоприятных и негативных факторов.

## 3.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

### 3.2.1 Цели и результат проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 3.5.

Таблица 3. 5 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Общественность	Новый продукт на рынке
Разработчик	Получение прибыли со своего продукта
Научный руководитель/студент	Выполненная выпускная квалификационная работа

Цели и результат проекта представлены в табл. 3.6.

Таблица 3. 6 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Изучение литературы по теме роботов компании kuoka</li> <li>– Проведение концептуального проектирования параллельного механизма с пятью осями перемещения и увязка его с дизайном роботов kuoka серии <b>kr CYBERTECH nano</b></li> <li>– Написание имитационной модели работы параллельного механизма в</li> </ul>
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	– Интегрированный концептуальный проект, готовый к реализации
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Исследование, проведенное на роботах KUKA</li> <li>- Полное исследование параллельного механизма, имеющего 5 осей перемещения</li> </ul>
<b>Требования к результату проекта:</b>	<b>Требование:</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Обоснование этапов исследования</li> <li>– Подведение общих выводов</li> </ul>

### 3.2.2 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта (табл. 3.7).

Таблица 3.7 - Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения</b>
Бюджет проекта	100 тыс.
Источник финансирования	Университет ТПУ
Сроки проекта	30.11.2022 – 30.04.2023
Дата утверждения плана управления проектом	15.12.2022
Дата завершения проекта	30.04.2023

### 3.3 Планирование управления научно-техническим проектом

#### 3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ. В данном пункте составляется полный перечень проводимых работ, определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Так как число исполнителей не превышает двух, то предпочтительным планированием работ является линейный график реализации проекта. Для его построения данные должны быть сведены в табл. 3.8.

Таблица 3.8 - Перечень этапов и распределение исполнителей

Основные этапы	№		Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	Магистрант
	3	Проведение патентного обзора	Магистрант
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	Магистрант
	5	Выполнение расчетов	Магистрант
	6	Построение модели параллельного механизма	Магистрант
	7	Построение программы моделирования работы параллельного механизма	Магистрант
Проведение ОКР			
Разработка технологической документации	8	Исследование моделей	Магистрант
	9	Разработка документации	Магистрант
Оформление отчета	10	Написание пояснительной записки	Магистрант

Построим график проведения научного исследования в форме диаграммы Ганта (табл. 3. 9). розовым цветом отмечена работа студента, синим– научного руководителя.

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме

представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 3.9 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Испол.	Продолжительность выполнения работ																							
			Декабрь				Январь				Февраль				Март				Апрель							
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель			■	■																				
2	Изучение материалов по теме	Магистрант						■	■																	
3	Проведение патентного обзора	Магистрант						■	■																	
4	Составление принципиальной схемы	Магистрант							■	■																
5	Выполнение расчетов	Магистрант											■	■	■											
6	Построение модели параллельного механизма	Магистрант													■	■	■									
7	Построение программы моделирования работы параллельного механизма	Магистрант															■	■	■							
8	Исследование	Магистрант															■	■	■							



### 3.3.4 Расчет амортизационных отчислений

В статье «Амортизационные отчисления» от используемого оборудования рассчитывается амортизация за время выполнения работы для оборудования, которое имеется в наличии.

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования лицензии SW по формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot Ц_{ОБ} \cdot t_{BT} \cdot n}{F_D}$$

где  $H_A$  – годовая норма амортизации, равная 1, т.к. лицензия покупается на 1 год.

$Ц_{ОБ}$  – цена оборудования,

$F_D$  – 289 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе, рабочий день – 8 часов, тогда  $F_D = 289 \cdot 8 = 2384$  ч.

$t_{BT}$  – время работы оборудования. В работе он был необходим 5 рабочих недели, соответственно, 240 ч.

$n$  – количество оборудования в работе.

$$C_{AM} = \frac{1 \cdot 310000 \cdot 240 \cdot 1}{2384} = 31209 \text{ руб.}$$

### 3.3.5 Основная заработная плата исполнителей

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы.

$$З_{ЗП} = З_{осн} + З_{доп}$$

$З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата;

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p$$

$З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}$$

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{т.с.}} \cdot k_p$$

$Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$Z_{\text{т.с.}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб;

$k_p$  – районный коэффициент, для Томска равный 1,3.

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 рабочих дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 рабочих дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15). Примем коэффициент равный 0,12.

Таблица 3.11 – баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	104	104
– выходные дни	14	14
– праздничные дни		
Потери рабочего времени	24	48
– отпуск	-	-
– невыходы по болезням		
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	199

Для руководителя:

$$З_{\text{дн.рук}} = \frac{27500 \cdot 1,3 \cdot 11}{223} = 1763 \text{ руб};$$

$$З_{\text{осн.рук}} = 1356 \cdot 51 = 89\,936 \text{ руб};$$

$$З_{\text{доп.рук}} = 0,12 \cdot 89936 = 10792 \text{ руб};$$

$$З_{\text{зп.рук}} = 89\,936 + 10792 = 100\,728 \text{ руб.}$$

Для Магистранта:

$$З_{\text{дн.ст}} = \frac{17500 \cdot 1,3 \cdot 10}{199} = 1143 \text{ руб};$$

$$З_{\text{осн.ст}} = 879 \cdot 93 = 106319 \text{ руб};$$

$$З_{\text{доп.ст}} = 0,12 \cdot 106319 = 12758 \text{ руб}$$

$$З_{\text{зп.ст}} = 106319 + 12758 = 119\,077 \text{ руб.}$$

### 3.3.6. Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством РФ нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$$

$k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2019 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 3.12.



Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	89963	10792
Студент	106319	12758
<b>Итого:</b>	70 337	

### 3.3.7 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot k_{\text{нр}}$$

$k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы (принимается равным 0,16).

$$Z_{\text{накл}} = ((89963 + 10792) + (106319 + 12758)) \cdot 0,16 = 35173 \text{ руб.}$$

### 3.3.8 Формированию бюджета затрат

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 3.13.

Таблица 3.13 - Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Затраты по основной заработной плате исполнителей	196282
Зарплаты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	23550
Отчисления во внебюджетные фонды	70337

Расходы на специальное оборудование	<b>60000</b>
Накладные расходы	35173
Расходы на амортизацию	31209
Бюджет затрат НТИ	719338

На основании итоговых данных таблицы 3.12, можно сделать вывод о необходимости изготовления первого исполнения изделия исходя из экономической целесообразности.

### 3.4 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение сравнительной эффективности исследования проводят для текущего проекта и для аналогов.

Сравнительная эффективность связана с двумя величинами: интегральный финансовый показатель  $I_{\Phi}^p$  и интегральный показатель ресурсоэффективности  $I_m$ .

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{325342}{500000} = 0.65$$

$\Phi_{pi}$  – стоимость проекта;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость (в т.ч. аналог)

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разах (значение больше единицы), либо численное удешевление бюджета затрат на разработку (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности можно вычислить по формуле:

$$I_m = \sum a_i \cdot b_i$$

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i$  – бальная  $i$  –го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Таблица 3.14 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

	<b>Весовой коэффициент параметров</b>	<b>Текущий проект</b>	<b>Аналог 1</b>	<b>Аналог 2</b>
1. Способствует росту производительности	0,2	5	4	4
2. Удобство эксплуатации	0,2	5	5	4
3. Экономичность производства	0,2	4	3	3
4. Надежность	0,2	4	4	4
5. Точность обработки	0,2	5	4	4
<b>Итого</b>	1	4,6	4	3,8

### 3.5 Заключение

В ходе выполнения данного раздела был проведен анализ перспективности данного проекта, рассмотрены различные варианты влияния благоприятных и негативных факторов.

На первом этапе работы была построена карта сегментирования рынка, анализ которой дает представление о том, какие области рынка сбыта наиболее актуальны для данного проекта. После этого проведен SWOT-анализ, моделирующий возможные варианты стечения благоприятных и негативных факторов. Далее, разбили проект на основные этапы работы и назначили исполнителей, провели расчет материальных затрат, связанных с выплатой заработной платы, отчисления во внебюджетные фонды и т.д. и посчитали общий уровень затрат для каждого исполнения.

Опираясь на полученные данные, можно сделать вывод о целесообразности изготовления управляемого координатного стола с волновым кинематическим редуктором, так как для его реализации необходимо наименьшее количество материальных затрат, а именно 719338 рублей. По результатам оценки сравнительной эффективности исследования можно сказать, что управляемый координатный стол с волновым кинематическим редуктором является конкурентноспособным проектом.

## **4 Социальная ответственность**

### **Введение**

Целью данного исследования является пятиосевой параллельный механизм, разработанный с помощью программного обеспечения **SOLIDWORKS**, и написание программы для моделирования его работы с помощью программы **Pascal ABC**.

целью этого механизма является увеличение осей сборочных роботов компании **KUKA** серии **kr CYBERTECH nano** .

В разделе «Социальной ответственности» магистерской диссертации рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места конструктора в соответствии с нормами производственной санитарии, безопасности и охраны окружающей среды. Цель раздела: выявление возможных вредных и опасных факторов процесса разработки проекта, а также разработка мероприятий по предотвращению негативного воздействия на здоровье конструктора, создание условий труда, перечисление организационных и технических мер, предусмотренных для ЧС, а также изучение вопроса охраны окружающей среды. Организация рабочего места должна соответствовать общепринятым и специальным требованиям техники безопасности, нормам санитарии, экологической и пожарной безопасности.

### **4.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **4.1.1. Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Научно-исследовательская работа выполнялась в учебной аудитории 16А корпуса Томского политехнического университета.

Основываясь на статье 91 Трудового кодекса Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. №197-Ф-2 (ред. От. 01.04.2019) рабочее время рассматривается как время, в течение которого работник в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и условиями трудового договора должен выполнять трудовые обязанности. Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.

Поступающие на работу допускаются к исполнению своих обязанностей только после вводного инструктажа о соблюдении мер безопасности, инструктажа на рабочем месте и после собеседования по вопросам техники безопасности. Проведение всех видов инструктажа регистрируется в журнале.

Защита персональных данных работника регламентируется статьями 86-90 Трудового кодекса Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).

Сведения об оплате и нормировании труда приведены в разделе VI (ст. 129 - 163) Трудового кодекса Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019).

#### **4.1.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя**

Согласно ГОСТ 12.2.049-80 "Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования", имеется ряд необходимых требований, которые предъявлены к рабочему месту сотрудников:

- эргономические требования к производственному оборудованию должны устанавливать его соответствие антропометрическим, физиологическим, психофизиологическим и психологическим свойствам человека и обусловленным этими свойствами гигиеническим требованиям с целью сохранения здоровья человека и достижения высокой эффективности труда.
- Эргономические требования к производственному оборудованию должны устанавливаться к тем его элементам, которые сопряжены с человеком при выполнении им трудовых действий в процессе эксплуатации, монтажа, ремонта, транспортирования и хранения производственного оборудования.
- При установлении эргономических требований к производственному оборудованию необходимо рассматривать оборудование в комплексе со средствами технологической и в необходимых случаях организационной оснастки.

Помимо этих требований, в ГОСТ 12.2.049-80 описаны общие характеристики рабочего места, требования к размещению рабочих органов управления и средств вывода информации:

- Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78, в положении стоя - ГОСТ 12.2.033-78.
- Конструкция органов управления должна учитывать требуемую точность и скорость движений при осуществлении управления, а также частоту использования органа управления, антропометрические характеристики двигательного аппарата человека, необходимость быстрого распознавания органов управления, формирования и закрепления навыков по управлению.

Опишем рабочее место конструктора, проектирующего пятиосевой параллельный механизм. Основными элементами рабочего места являются стол и стул. Стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие. Стул должен иметь конструкцию, исключаящую онемение тела из-за нарушения кровообращения при длительной работе на рабочем месте.

Основная рабочая поза – положение сидя – имеет наименьшее утомление. Рабочее место и оборудование должны гарантировать прямое и свободное положение корпуса тела работающего или наклон его вперед не более, чем на 15°. Для работы со средствами труда и документацией, все перечисленное должно быть в зоне досягаемости моторного поля (рис.1).

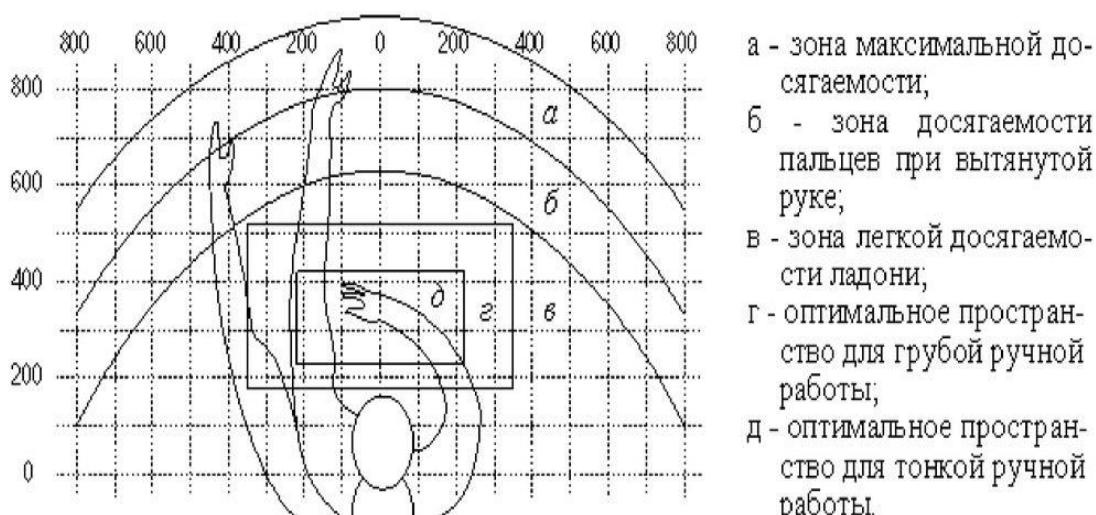


Рис.1. Зоны досягаемости моторного поля в горизонтальной плоскости поля при

Проектировании

#### 4.2 Производственная безопасность

Производство включает в себя наличие определенных вредных и опасных факторов (ГОСТ 12.0.002-14 «ССБТ. Основные понятия. Термины и определения»), которые можно разделить на группы: физические, химические, биологические и психофизиологические (ГОСТ 12.0.003-2015 «ССБТ. Опасные и вредные факторы. Классификация»).

На конструктора, работающего непосредственно с ПЭВМ, могут воздействовать производственные факторы, которые приведены в таблице 1.

При работе на ЭВМ к концу рабочего дня возникают типичные ощущения: переутомление глаз, головная боль, тянущие боли в мышцах шеи, рук и спины, снижение концентрации внимания.

Таблица. 1. Вероятные вредные и опасные факторы

№	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1	Производственные факторы, связанные с отсутствием или недостатком необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*; СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий;
2	Производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде (повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума)	ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация; ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности; СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
3	Производственные факторы, связанные с отклонениями микроклимата рабочих мест	ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны; СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
4	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов; ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;

## 4.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов.

### 4.2.1.1 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат различных производственных помещений контролируют некоторыми факторами:

- температура воздуха в помещении;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха.

Эти факторы влияют на функциональную деятельность человека, его здоровье, на работу различных вычислительных аппаратов. Понижение или повышение значений этих факторов определяются как вредные факторы производства.

Нормы оптимальных условий устанавливает ГОСТ 12.1.005-88 (приложение 1). Работа оператора ЭВМ относится к категории Ia – работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением.

По ГОСТ 12.1.005-88 определяются оптимальные показатели микроклимата, с учетом категории работ по тяжести на основе общих энергозатрат организма в ккал/ч (табл.2).

Таблица 2. Оптимальные и допустимые показатели микроклимата

Период года	Температура, °С			Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
	Оптимальная граница	Верхняя граница	Нижняя граница	Оптимальная граница	Допустимый максимум	Оптимальная	Допустимый максимум
Холодный	22-24	24,5	21	40-60	75	0,1	0,1
Теплый	23-25	26	22	40-60	55	0,1	0,2

Чтобы удерживать эти нормы, необходимо иметь естественную вентиляцию помещения и кондиционер, обеспечивающий постоянную температуру, относительную влажность воздуха, скорость движения, чистоту. Вентиляция проходит естественным и механическим путем. В помещение должны проходить не менее 30 м<sup>3</sup> в час на одного человека при объеме помещения менее 20 м<sup>3</sup>. При большем объеме помещения допускается естественная вентиляция.



В зимний период для поддержки температуры на необходимом уровне требуется система центрального водяного отопления по СНиП-41-01-2003 (Отопление, вентиляция и кондиционирование).

#### **4.2.1.2 Превышение уровня шума**

В помещениях, предназначенных для проектировочных работ с использованием ПЭВМ, уровень шума не должен превышать значений, утвержденных действующими нормативами. Нормативным эквивалентным уровнем звука (уровень звука, воздействующий на работающего за рабочую смену) на рабочих местах в классных помещениях, учебных кабинетах, аудиториях учебных заведений, конференц-залах и т.д. в соответствии с СП 51.13330.2011 (табл.1.) равен 40 дБА. Максимальный уровень звука – 55 дБА.

Основным источником шума может являться внешняя среда (уличные и дорожные звуки, соседние помещения, коридоры). От такого шума необходима качественная изоляция помещения. Повышение звукоизоляции окон может быть достигнуто увеличением толщины стекол, увеличением толщины воздушного промежутка между стеклами, закреплением стекол в переплетах с помощью упругих прокладок, применением запорных устройств, обеспечивающих плотное закрывание окон.

Повышение изоляции воздушного шума дверями и воротами может быть достигнуто за счет увеличения поверхностной плотности их полотна, за счет плотной пригонки полотна к коробке, за счет устранения щели между дверью (воротами) и полом при помощи порога с уплотняющими прокладками. Необходимо также предусматривать запорные устройства, обеспечивающие плотный прижим двери (ворот) к коробке, замочные скважины должны быть закрыты.

#### **4.2.1.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Основными понятиями, характеризующими свет, являются световой поток, сила света, освещенность и яркость. Световым потоком называют поток лучистой энергии, оцениваемый глазом по световому ощущению. Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света. Нормальная освещенность достигается в дневное время за счёт естественного света, проникающего через оконные проёмы, в утренние и вечерние часы за счёт искусственного освещения лампами. В качестве источников искусственного света будем использовать люминесцентные лампы, которые по сравнению

с лампами накаливания имеют ряд существенных преимуществ: по спектральному составу они близки к дневному, естественному свету; обладают более высоким КПД (в 1,5-2 раза выше, чем КПД ламп накаливания); обладают повышенной светоотдачей (в 3-4 раза выше, чем у ламп накаливания); более длительный срок службы.

По СП 52.1333.2016 (Естественное и искусственное освещение) норма освещения для учебных кабинетов и лабораторий высших учебных заведений в горизонтальной плоскости при уровне стола над полом в 0,8 м принимается в 400 лк.

Следует ограничивать отраженную блескость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура) за счет правильного выбора и расположения светильников, яркость бликов на экране не должна превышать 40 кд/м<sup>2</sup>. Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель. Проектирование искусственного освещения рабочего места сводится к выбору системы освещения, определению необходимого числа светильников, их типа и размещения. Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами, м: – высота помещения; – расстояние светильников от перекрытия (свес); – высота светильника над полом, высота подвеса; – высота рабочей поверхности над полом; – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью.

Размещение светильников определяется такими размерами, как:

$H = 3$  м – высота стен помещения;

$h_c$  – расстояние светильников от перекрытия;

$h_{\text{п}} = H - h_c = 2,5$  м – высота светильника над полом;

$h_p$  – высота рабочей поверхности над полом;

$h = h_{\text{п}} - h_p$  – расчетная высота светильника над рабочим столом.

Расстояние между светильниками:

$$L = \lambda \cdot h \quad (1)$$

Где  $\lambda = L/h$  – величина, характеризующая наивыгодное относительное расстояние между светильниками. Принимаем значение в 1,3 для люминесцентных ламп.

Найдем высоту светильника над рабочим столом:

$$h = h_{\text{п}} - h_p = 2,5 - 0,8 = 1,7 \text{ м};$$

Расстояние между светильниками:

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 1,7 = 2,21 \text{ м};$$

Расстояние  $I$  от крайних светильников или рядов до стены:

$$I = \frac{L}{3} = \frac{2,21}{3} = 0,7 \text{ м};$$

Светильники расположим в три ряда. В одном ряду определим три светильника типа ШОД-2-40 (по две лампы 40В в одном светильнике). План помещения и размещения в нем светильников показан на рис. 2. Общее количество ламп в помещении  $n = 9 \cdot 2 = 18$  ламп.

Изобразим в соответствии с исходными данными план помещения, обозначим место крепления светильников и их количество (рис. 2).

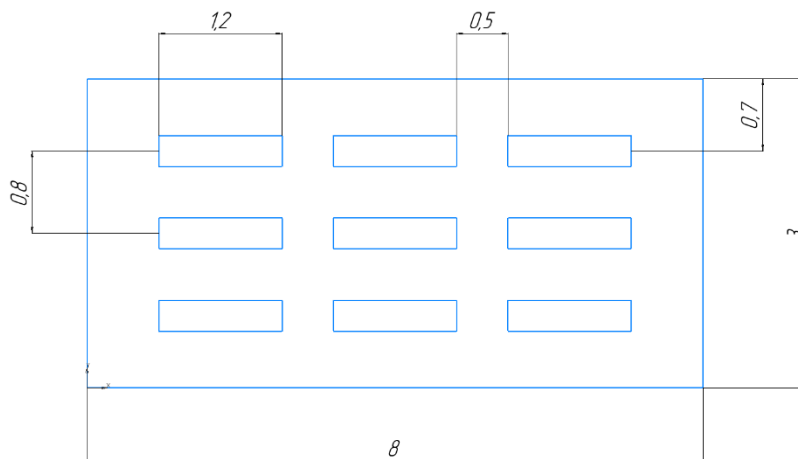


Рис. 2. Разметка помещения

Индекс помещения можно найти как:

$$i = \frac{S}{h(A + B)} = \frac{8 \cdot 3}{1.7 \cdot (8 + 3)} = 1.25 \quad (2)$$

Тогда, коэффициент использования светового потока:

$$\eta' = 0,43$$

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен.

Световой поток лампы  $\Phi$  определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N_l \cdot \eta'} \quad (1),$$

Где  $E_n$  – нормативная освещённость по СП 52.13330.2016, лк;

$S$  – площадь освещаемого помещения, м<sup>2</sup>;

$K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения (для люминесцентных ламп 1.1);

$N_l$  – число ламп в помещении (необходимо учесть число ламп в светильнике);

$\eta'$  – коэффициент использования светового потока.

Световой поток ламп в каждом из рядов:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 24 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{18 \cdot 0,43} = 1590 \text{ Лм}$$

Рассчитав световой поток  $\Phi$ , зная тип лампы, по таблице выбираем стандартную ближайшую лампу, определяем электрическую мощность всей осветительной системы. Если необходимый поток светильника выходит за пределы диапазона (-10 ÷ +20%), то корректируется число светильников  $n$  либо высота подвеса светильников.

Выбираем лампу – ЛД30 с потоком 1650 Лм. Выполняем проверку выполнения условия:

$$\begin{aligned} -10\% &\leq \frac{\Phi_{\text{стандарт}} - \Phi_{\text{расчет}}}{\Phi_{\text{стандарт}}} \cdot 100\% \leq +20\% \\ -10\% &\leq \frac{1650 - 1590}{1650} \cdot 100\% \leq +20\% \\ -10\% &\leq 3,6\% \leq +20\% \end{aligned}$$

Необходимый поток светильника не выходит за пределы диапазона (-10 ÷ +20%), то корректировать число светильников  $n$  либо высоту подвеса светильников нет необходимости.

Определим электрическую мощность осветительной установки:

$$P = \omega \cdot S = 30 \cdot (3 \cdot 8) = 720 \text{ Вт}$$

Отсюда мощность каждой лампы:

$$P_{\text{л}} = \frac{P}{n} = \frac{720}{18} = 40 \text{ Вт}$$

Мощность установки:

$$P = N_{\text{л}} \cdot P_{\text{л}} = 18 \cdot 30 = 540 \text{ Вт}$$

#### **4.2.1.4 Требования к уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ.**

В новых, действующих с 1 марта 2021 года гигиенических нормативах (СанПиН 1.2.3685-21) отсутствует такой класс электромагнитных полей, как электрические и магнитные поля диапазона частот 5 Гц - 400 кГц на рабочих местах с ПЭВМ. Ранее гигиенические нормативы для ЭМП данного диапазона частот (с поддиапазонами 5 Гц - 2 кГц и 2 кГц - 400 кГц) присутствовали в двух санитарных правилах - в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» и в СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах». Первый документ отменен с 1

января 2021 года постановлением Правительства РФ № 1631 от 8 октября 2020 года, а второй документ отменен с 1 марта 2021 года постановлением Главного санитарного врача РФ № 2 от 28 января 2021 года. Было упоминание о таких типах электромагнитных полей и в других гигиенических документах (например, в СанПиН 2.5.2/2.2.4.1989-06, в СП 2.2.2.1327-03), но все эти документы по состоянию на настоящий момент также отменены в рамках «регуляторной гильотины» теми или иными постановлениями Правительства РФ или постановлениями Главного санитарного врача РФ.

### **Обоснование мероприятий по снижению воздействия**

Меры защиты от опасных и вредных факторов производства делятся на технические и организационные. Рассмотрим мероприятия по каждому выявленному фактору:

#### **Мероприятия по снижению показателей микроклимата**

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещения должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20м<sup>3</sup> на человека – не менее 30м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция. В зимнее время в помещении необходимо предусмотреть систему отопления. Она должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление.

#### **Мероприятия по снижению уровня шума**

Снизить уровень шума в помещениях с ПЭВМ можно использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 – 8000 Гц для отделки помещений (разрешенных органами и учреждениями Госсанэпиднадзора России), подтвержденных специальными акустическими расчетами. Дополнительным звукопоглощением служат однотонные занавеси из плотной ткани, гармонирующие с окраской стен и подвешенные в складку на расстоянии 15- 20 см от ограждения. Ширина занавеси должна быть в 2 раза больше ширины окна.

## **Мероприятия по устранению недостаточной освещенности рабочей зоны**

Помещения с ПЭВМ должны иметь естественное и искусственное освещение. Для общего освещения помещений лучше использовать люминесцентные лампы. В целях устранения бликов отражения поверхность экрана обрабатывается различными способами (кислотой, нанесением рассеивающих покрытий) или используются специальные фильтры. Для общего освещения лучше использовать потолочные или встроенные светильники с люминесцентными лампами. Источники света рекомендуются нейтрально-белого или теплого белого цвета. Световой поток от газоразрядных ламп по спектральному составу близок к естественному освещению и поэтому более благоприятен для зрения. Однако есть и недостаток эти лампы имеют пульсацию светового потока.

## **Мероприятия по снижению уровням электромагнитных полей на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ**

При защите от внешнего облучения, возникающего при работе с дисплеем, проводятся следующие мероприятия: - согласно СанПиН 2.2.2.542-96 для обеспечения оптимальной работоспособности и сохранения здоровья на протяжении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы – при 8-часовом рабочем дне продолжительностью 15 минут через каждый час работы; - дисплей устанавливается таким образом, чтобы от экрана до оператора было не менее 60-70 см; - должны использоваться дисплеи со встроенными защитными экранами. В кабинете мониторы должны быть расположены по периметру задней поверхностью к стенам, а так же на отдельных столах. Поэтому можно считать, что расположение компьютеров удовлетворяет требованиям СанПиН.

Для мониторов рекомендуется следующее дооснащение: - Защитный фильтр для экрана, ослабляющий переменное электрическое и электростатическое поля; - Для одиночных ПЭВМ или их однорядном расположении – специальное защитное покрытие на переднюю панель и боковые стенки; - При многорядном расположении ПЭВМ, если соседние рабочие места располагаются близко друг к другу (на расстоянии 1,2...2,5 м) – защитное покрытие задней и боковых стенок, монтирование специальных экранирующих панелей с задней и боковых сторон монитора, установка перегородок между различными пользователями. Разработана технология защиты от электростатических, переменных электрической и магнитной составляющих ЭМИ путем нанесения электропроводных покрытий на внутреннюю поверхность корпуса монитора и его заземления, встраивания в дисплей оптического защитного фильтра, защищающего от излучений со стороны экрана.

Для мониторов устаревших конструкций, которые не соответствуют по уровню излучений современным требованиям безопасности и еще не сняты с эксплуатации, рекомендуется применять защитные фильтры (ЗФ), предназначенные для установки на экран. ЗФ представляют собой оптически прозрачную панель, которая жестко закрепляется на корпусе монитора с помощью кронштейна поверх экрана. На панель нанесен тонкий проводящий слой, который заземляется. Это позволяет подавить ЭМИ, исходящие от экрана в осевом направлении. Кроме того ЗФ устраняют блики, появляющиеся на стеклянных элементах видеомонитора от осветительных приборов или солнечных лучей, которые отрицательно воздействуют на зрение оператора; уменьшают общую яркость экрана дисплея, в то же время детали изображения с малой яркостью становятся лучше видимы, так как общая контрастность увеличивается, при этом краски изображения становятся более сочными. ЗФ можно разделить на следующие группы: сетчатые, пленочные, поляризационные, стеклянные и смешанного типа. Наряду с мониторами на основе электронно-лучевой трубки применяют жидкокристаллические дисплеи (ЖК-мониторы). На всех переносных портативных компьютерах применяют ЖК-мониторы. В последнее время они находят применение и для настольных ПК.

ЖКмониторы потребляют значительно меньше энергии и практически полностью безопасны. Без опасения для здоровья ими могут пользоваться и женщины и дети. Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

#### **4.3 Экологическая безопасность**

Защита окружающей среды в наше время является одной из самых приоритетных задач. Огромное количество отходов является огромной проблемой. Чтобы уменьшить их количество, необходимо отказаться от старых методов производства и перейти на новый, безотходный уровень промышленности.

В процессе проектирования пятиосевого параллельного механизма, в качестве промышленных отходов в основном выступает бумага. Такой мусор с другими отходами вывозится в определенные места, оборудованные под склады. Сжигание этих отходов уменьшает их объемы почти на 90%, но, как следствие, пары выделяются в атмосферу [19]. Эти последствия можно уменьшить, используя электронные форматы документов, почту и т.д.

Утилизация ПЭВМ происходит путем передачи их в специализированные службы, в которых они разбираются на составные части, сортируются, дробятся в измельчителе и передаются на дальнейшую переработку [20].

В процессе изготовления проекта остается металлическая стружка, которая собирается, увозится в пункты переработки, и в дальнейшем переплавляется в новые заготовки [21].

#### **4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

##### **4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований**

Процесс проектирования пятиосевого параллельного механизма не может инициировать возникновение каких-либо ЧС, так как не производят поражающих факторов физического или химического характера.

##### **4.4.2 Анализ возможных ЧС, которые могут возникнуть в помещении при разработке**

При проведении исследования возможно возникновение такого вида возможного ЧС, как техногенные аварии, связанные с возникновением пожара в производственном помещении; причинами возникновения данного вида аварии в помещениях является несоблюдение правил техники безопасности при эксплуатации пожароопасных и легковоспламеняющихся приборов, таких как удлинители, электрошнурки, приборы освещения, компьютеры и периферия.

При возникновении пожара необходимо незамедлительно обратиться в службу спасения. Затем оповестить персонал о возникновении пожара нажатием на кнопку сигнализации. При опасности поражения электротоком, помещение необходимо обесточить. После чего можно приступать к тушению пожара. Для тушения электрооборудования применяют углекислотные огнетушители.

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" производственные помещения оборудованы следующими средствами пожаротушения: огнетушитель ручной углекислотный ОУ-5, пожарный кран с рукавом, также каждое помещение оборудовано системой противопожарной сигнализации.



## **Заключение по разделу**

В ходе работы были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности; производственная и экологическая безопасность; безопасность в чрезвычайных ситуациях. Был проведен расчет освещения, спрогнозированы основные мероприятия по устранению возможных негативных последствий рабочих.

Согласно правилам по охране труда при эксплуатации электроустановок персонал должен обладать I группой допуска по электробезопасности. Присвоение группы I по электробезопасности производится путем проведения инструктажа, который должен завершаться проверкой знаний в форме устного опроса и (при необходимости) проверкой приобретенных навыков безопасных способов работы или оказания первой помощи при поражении электрическим током.

Категория помещения по электробезопасности, согласно ПУЭ, соответствует первому классу – помещения без повышенной опасности.

Категория тяжести труда в лаборатории по СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" относится к категории Ib (работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением

Категория помещения соответствует группе А, возможный класс пожара В.

Рассмотренный объект, оказывающий незначительное негативное воздействие на окружающую среду, относится к объектам III категории. Необходимо в дальнейшем рассмотреть способы утилизации отходов производства подобных устройств.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 26228 -90. Гибкие производственные системы Термины и определения, номенклатура показателей.
2. Выжигин А.Ю. Гибкие производственные системы: учеб. пособие. М.: Машиностроение , 2009г.
3. Любимов В. И. , Белявин .К. Е Организационно-технические основы гибкого автоматизированного производства: Минск . БНТУ. ,2012г.
4. Соломенцевв Ю.М. Роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные системы в машиностроении: Альбом схем и чертежей:— М.Машиностроение .,1989г.
5. Роботы KUKA для производства, их типы и возможности <https://ume.la/Vx1ssO>
6. Zoran PANDILOV. ,Vladimir DUKOVSKI. PARALLEL KINEMATICS MACHINE TOOLS: OVERVIEW- FROM HISTORY TO THE FUTURE: MACEDONIA. FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING-SKOPJE., 2012 г .
7. БОГУС З.Р., НДЖОМОН М.Н., ШИШКИН М.В, КОРНИЕНКО В.Г. ОБЗОР МЕХАНИЗМОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ:М. Кубанский государственный технологический университет. ,2016 г.
8. Санитарные правила и нормы. СанПин 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда» от 01.01.2021 № 12.2.032 N 40 // Официальный интернет-портал правовой информации. – 2020
9. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022)
10. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования: дата введения 01.04.2001. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 9 с.
11. ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования: дата введения 01.10.2001. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 15 с.
12. ГОСТ 12.0.002-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Термины и определения: дата введения 01 апреля 2019. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 32 с.
13. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Поправками): дата введения 23 августа 2021. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 16 с.

14. Санитарные правила и нормы. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* (с Изменениями N 1, 2) от 28.12.2021 № 52.13330.2016 // Официальный сайт Минстроя России. – 2016
15. ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация: дата введения 01 апреля 2001. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 4 с.
16. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (Переиздание): дата введения 01 сентября 2019. – Москва: Стандартиформ, 2019. – 27 с.
17. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменениями N 1, 2, 3): дата введения 31 мая 2022. – Москва: ОАО "ЦПП", 2010. – 46 с.
18. Санитарные правила и нормы. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» от 03.02.2021 № 2 1.2.3685-21 //// Официальный интернет-портал правовой информации. – 2022
19. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1): дата введения 01 января 2008. – Москва: Стандартиформ, 2008. – 50 с.
20. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1): дата введения 01 июня 2001. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 50 с.
21. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (с Поправкой): дата введения 01 января 2021. – Москва: Стандартиформ, 2019. – 22 с.
22. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха СНиП 41-01-2003 (с Поправкой, с Изменением N 1): дата введения 30 мая 2022. – Москва: Стандартиформ, 2021. – 60 с.
23. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 29 октября 2021 г. N 774н "Об утверждении общих требований к организации безопасного рабочего места" (Зарегистрировано в Минюсте РФ 25 ноября 2021 г. Регистрационный N 65987)

24. Приказ Минэнерго России от 12.08.2022 N 811 "Об утверждении Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии" (Зарегистрировано в Минюсте России 07.10.2022 N 70433))
25. Мубаракшина Ф. Д., Гусева А. А. Современные проблемы и технологии переработки мусора в России и за рубежом // Известия КазГАСУ. 2011. №4 (18). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-problemy-i-tehnologii-pererabotki-musora-v-rossii-i-za-rubezhom>
26. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2): дата введения 01 апреля 2007. – Москва: Стандартинформ, 2007. – 5 с.
27. Медведев Аркадий, Арсентьев Сергей. Утилизация продуктов производства электроники // Компоненты и Технологии. 2008. №87. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/utilizatsiya-produktov-proizvodstva-elektroniki>
28. Кукуй Д.М., Емельянович И.В., Петровский В.П., Ровин Л.Е., Ровин С.Л. Опыт утилизации металлической стружки // Литьё и металлургия. 2009. №1 (50). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-utilizatsii-metallicheskoj-struzhki>
29. Хамидуллова Л. Р., Васильев А. В. Классификация и комплексная оценка смазочно-охлаждающих жидкостей по степени воздействия на человека и биосферу // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №5-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-i-kompleksnaya-otsenka-smazochno-ohlazhdayuschih-zhidkostey-po-stepeni-vozdeystviya-na-cheloveka-i-biosferu>

## Приложение А (справочное)

### A small-sized 6-coordinate manipulator for expanding the functionality of the robot (KUKA) in the FAP

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ11	Аларус Раша		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Крауиньш Петр Янович	д.т.н., профессор		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель	Тайдонова Светлана Сергеевна	к.ф.н.		
Доцент	Полякова Наталья Владимировна	к.ф.н., доцент		

## Introduction

The wide possibilities of industrial robots and their versatility have made them one of the most important means of automation in flexible production systems [1].

Robots can be used in the production process in flexible production systems to perform auxiliary operations such as transportation, material handling, tools, and major operations such as Assembly, welding, painting, and others [1].

**KUKA** is a German company founded in 1898, a pioneer in the field of robotics and means of production automation and its products vary between robotic systems industrial robots, production machines, KUKA production systems, mobility and technological processes [2].

**KUKA** company has various types of industrial robots with different capabilities and purpose as shown in the figure 1 [2].



Figure 1- Classification of industrial robots from the company KUKA

### **KUKA robots of the KR CYBERTECH nano series:**

Robots of the **KR CYBERTECH nano** series with innovative introductions have achieved high productivity combined with high performance among robots with low load capacity.

Designed for various loading and unloading operations, moving small parts, assembling and stacking on pallets [2].

Robots of this series are light in weight and small in size, and therefore they can be installed in various places of the production environment [2].

There are three versions in this series, which are: NANO KR 6 R1820; NANO KR 8 R1620; NANO KR 10 R1420 [2].

Each of them has six axes of motion (six degrees of rotation axis), which allow rotation in accordance with the data given in the table 1 [2].

Table 1- Axis data for KUKA robots of kr CYBERTECH nano series

Axis data	
Motion range	
A1	±170 °
A2	-185 ° / 65 °
A3	-137 ° / 163 °
A4	±185 °
A5	±120 °
A6	±350 °
Speed with rated payload	
A1	220 °/s
A2	210 °/s
A3	270 °/s
A4	381 °/s
A5	311 °/s
A6	492 °/s

Various assembly and gripping mechanisms can be installed at the end of the robot, as shown in the figure 2, through a mounting flange in accordance with the following design as shown in the figure 3: [2]



Figure 2 - A gripping mechanism installed at the end of the robots of the kr CYBERTECH nano series

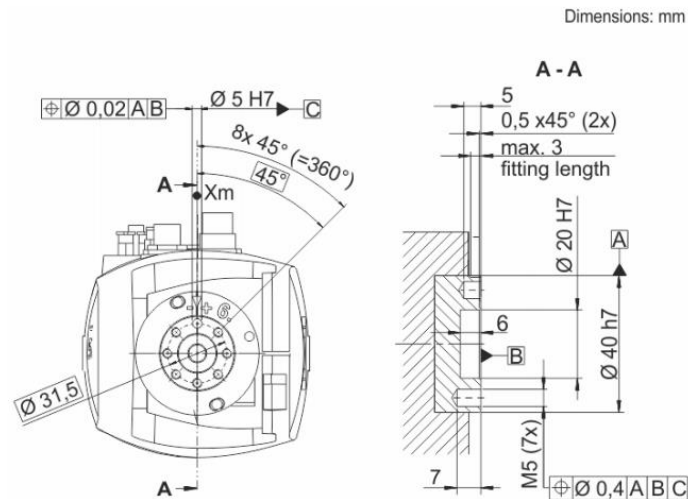


Figure 3 - Mounting flange

In the graduate qualification work we present a conceptual design of **a mechanism with parallel kinematics** with five degrees of rotation axis, designed to be installed at the end of the KUKA robots of this series with six degrees of rotation axis, thus the total number of degrees of rotation axis of the robot becomes eleven degrees of rotation axis.

## 2. Mechanism with parallel kinematics

### 2.1 Elements of mechanism with parallel kinematics

The **mechanism with parallel kinematics** (Fig. 4) consists mainly of a fixed bottom base 1 - a conventionally flat disk, with specified coordinates in the plane  $XY$  of the pusher axes and the beginning of a fixed coordinate system **XYZ ABC**.

And a movable top table 2 also has a movable coordinate system **xyz abc**.

Six parallel vertical pushers 3. All the centers of the pushers are located at the same radius from the origin of the base in plane  $XY$   $r_n$  but at different angles  $f_n$ -( $f_{n1}$ ,  $f_{n2}$ ,  $f_{n3}$ ...  $f_{n6}$ ).

Six connecting rods 4 connecting the ends of each connecting rod  $i$  between the pusher  $i$  on one side and the top table on the other. The connecting points of the connecting rods with the table have the same radius  $r_s$ , but different angles of location  $f_s$ - ( $f_{s1}$ ,  $f_{s2}$ ,  $f_{s3}$ .. $f_{s6}$ ).

Each of the pushers is driven by a single stepper motor 5.



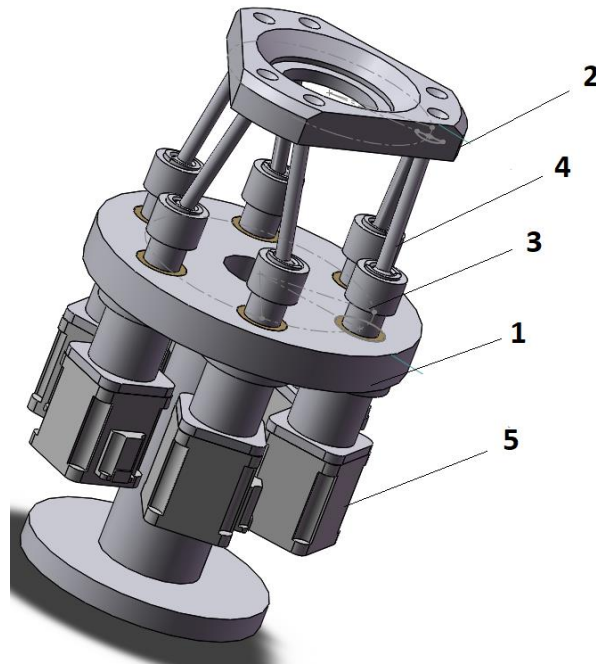


Figure 4 - The parallel mechanism

## 2.2 The principle of operation of the mechanism with parallel kinematics

In this mechanism we consider that the center of the top table is the reference point of the work. In the initial position, the table and the base are centered and parallel.

Moving the robot to some point of its workspace means moving the center of the table to this point, as the table can move linearly along three perpendicular axes and rotate around only two axes.

This is done according to the **following principle:**

Each follower  $i$  of the pushers moves in the vertical direction only so that the height of the pusher from the base becomes equal to  $(P_{zi}+14)$  and the connecting rod  $i$  moves and therefore the cooperative movements of the connecting rods causes the movement of the top table so that the center of the top table moves to the point required by the robot to reach it.

The direction of movement of the ends of the connecting rods connected to the followers, of course, according to the vertical direction, but the direction of movement of their ends connected to the table is related to the values of the transmission of the followers.

The  $P_{zi}$  values - the value of the height of the working part of each pusher  $i$  from the base are calculated according to the coordinates of the reference point (the coordinates of the current table center) and the coordinates of the desired point to which the robot must reach (the coordinates of the next table center) and its maximum value is 40.

The number 14 is the height of the pusher's head or, in other words, the height of the non-working part of the pusher as shown in the Figure 5.

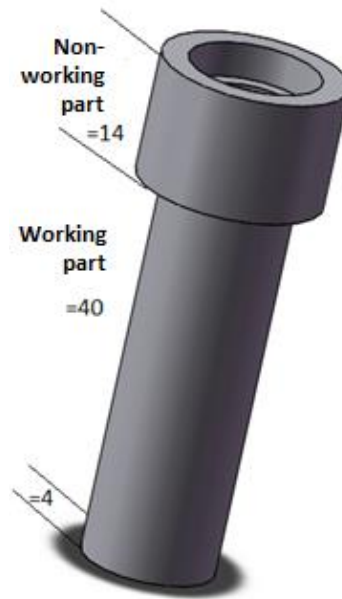


Figure 5 - Parts of pusher

### 3. The equation for calculating the coordinates of the working part of the pushers

The coordinates of the pushers are calculated according to Y and X for the base coordinate system according to the equation as shown in the figure 6:

$$n[i]_X = rn \times \cos(fn_i) \quad (1)$$

$$n[i]_Y = rn \times \sin(fn_i) \quad (2)$$

Where - i- is the pusher number

$f_{ni}$  - the angular position of the pusher i with the positive direction of the X-axis on the radius rn.

And their values, respectively (30; 90; 150; 210; 270; -30).

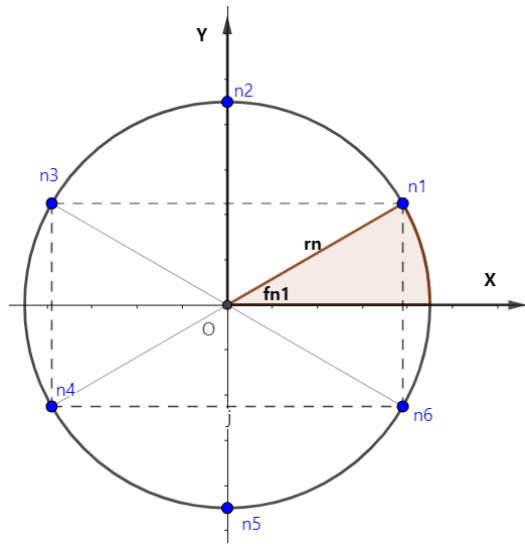


Figure 6 - The coordinates of the pushers according to Y and X

The coordinates of the ends of the connecting rods connecting with the table relative to the coordinate system of the base are calculated according to the equation as shown in the figure 7:

$$s0[i]_X = r_s \times \cos(f_{si}) + x_s \quad (3)$$

$$s0[i]_Y = r_s \times \sin(f_{si}) + y_s \quad (4)$$

Where  $i$  – is the connecting rod number

$f_{si}$  – the angular position of the connecting rod the number  $i$  with the positive direction of the X-axis on the radius  $r_s$ . And their values, respectively (15; 105; 135; 225; 255; -15);

$x_s, y_s$  – the coordinates of the center of the table relative to the base coordinate system on the axis X, Y.

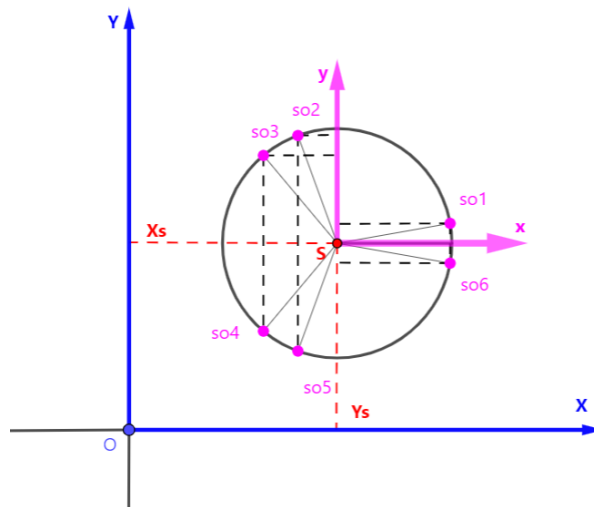


Figure 7- The coordinates of the ends of the connecting rods according to Y and X

The coordinates of the working part of the pushers on the Z-axis are determined by one of the following two cases:

- 1- in case the table and the base are parallel (there is no rotation of the table) as shown in the figure 8:

$$Pzi = Z_s - Z_{0i} - 14 \quad (5)$$

$Z_s$  –the coordinates of the center of the table relative to the base coordinate system on the axis Z.

The equation  $Z_{0i}$  is derived according to the Pythagorean law as shown in the figure 8:

$$l_0^2 = Z_{0i}^2 + ([ni \ s0i'])^2$$

$$Z_{0i} = \sqrt{l_0^2 - (n[i]_x - s0[i]_x)^2 - (n[i]_y - s0[i]_y)^2} \quad (6)$$

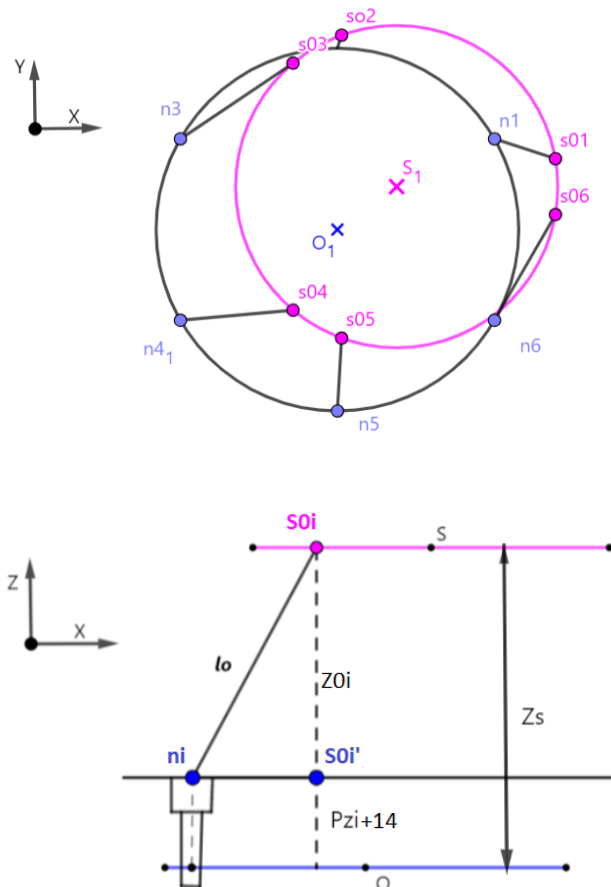


Figure 8 - Coordinates of the working part of the pushers on the Z-axis without rotation

- 2- in case the table and the base are not parallel (there is a rotation of the table) as shown in the figure 9. The equation is:

$$Pzi = Z_s - Z_{0i} - Z_{ai} - Z_{bi} - 14 \quad (7)$$

Where  $Z_{ai}$ - is the change in the coordinates of the working part for each pusher along the Z axis resulting only from rotation around Y.

$Z_{bi}$ - the change in the coordinates of the working part for each pusher along the z axis resulting only from rotation around X.

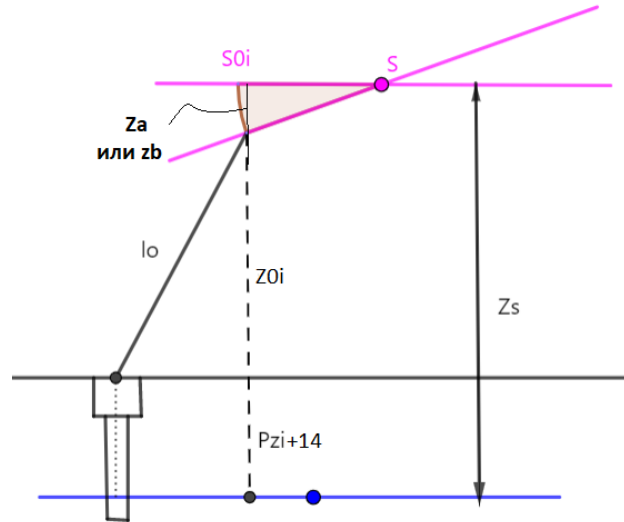
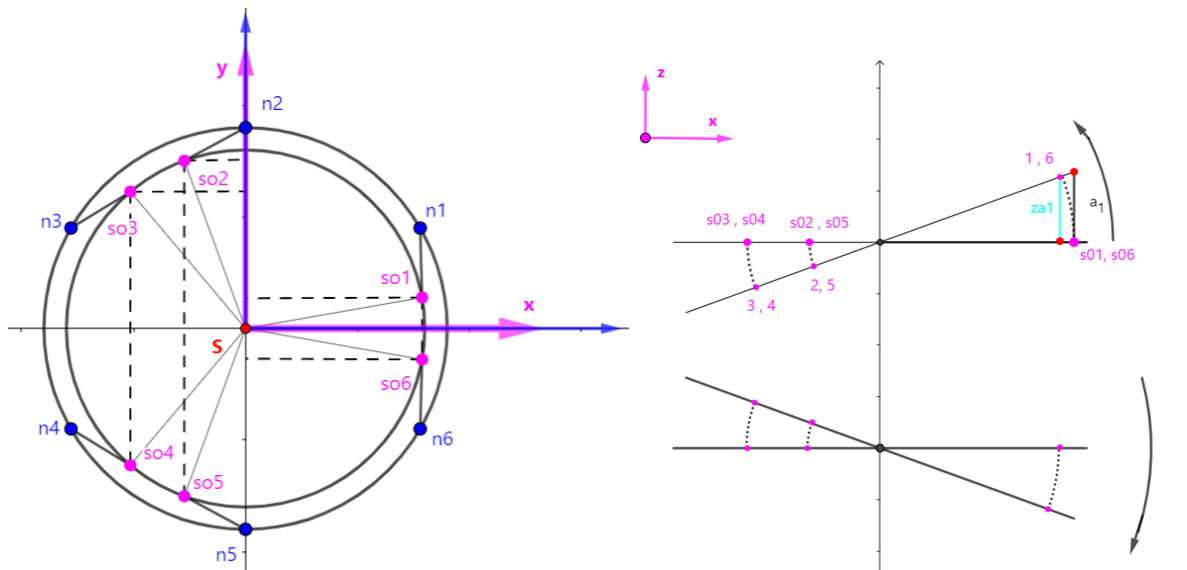


Figure 9 - Coordinates of the working part of the pushers on the Z-axis in rotary mode

From the figure 10 is obtained the relation  $Z_{ai}$ :

$$s_{ix} = s_0 i_x \times \cos(f_b) \quad (8)$$

$$Z_{ai} = s_{ix} \times \sin(f_b) \quad (9)$$



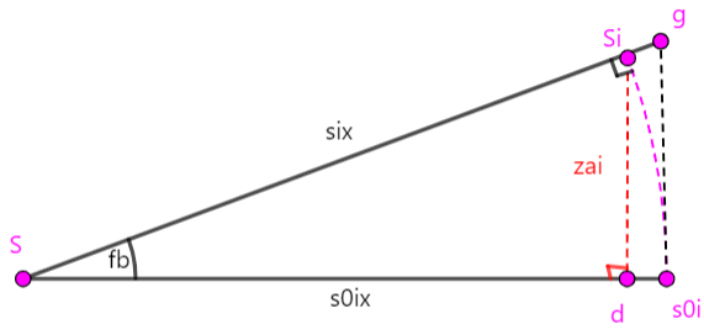


Figure 10- Change in the Z-coordinates axis resulting only from rotation around y

From the figure 11 is obtained the relation  $Z_{bi}$ :

$$s_{iy} = s_{0iy} \times \cos(f_a) \quad (10)$$

$$Z_{bi} = s_{iy} \times \sin(f_a) \quad (11)$$

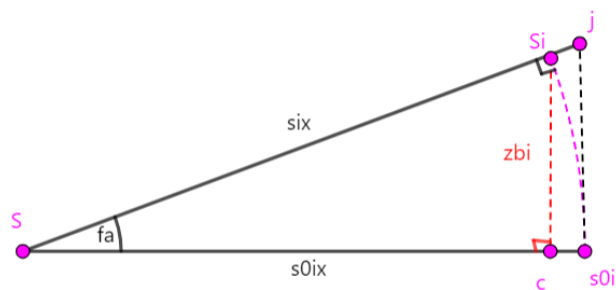
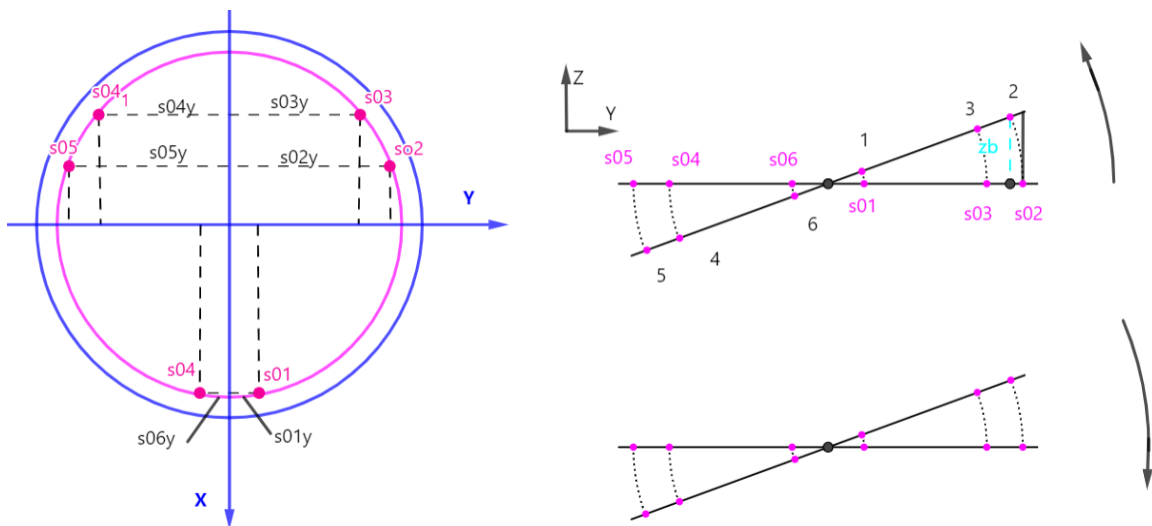


Figure 11- Change in the z-coordinates axis resulting only from rotation around x

## 4- Simulation of the mechanism with parallel kinematics

### Simulation of the mechanism with parallel kinematics

The program that simulates the operation of a parallel mechanism is written in the **Pascal ABS** Program.

The purpose of this simple program is to calculate the current values of the Z-coordinates of the working part of the pushers **Pz** in a six-dimensional matrix  $p[i]$ , that is, for six points of the table according to the coordinates of the current center of the table and the coordinates of the point to which the Robot should reach.

Because the number of points in the mechanism's workspace is very huge and calculations cannot be performed manually, the simulation program is simple and studies part of these points so that it is analyzed what and how to calculate what is needed and how the algorithm is built.

The work of the parallel mechanism is simulated in two cases:

The **first case** is the case of linear motion (without rotation) of the table in a horizontal plane parallel to the base  $Z = 80$ , and therefore the coordinates of the required points change according to X and Y only in such a way that the center of the table draws a path in the form of a spiral of the greatest radius 20 and the diameter of the vortex decreases according to a decreasing exponential sequence.

The **second case** is the case of linear motion (with rotation) of the table in a horizontal plane parallel to the base  $Z = 80$ , so that the coordinates of the required points change according to X and Y only in such a way that the center of the table draws a path in the form of a spiral of the greatest radius 20 with a rotational movement around X, Y so that in them the angle of rotation changes according to a sinusoidal repeater, and the maximum value of the angle of rotation was 4 degrees.

## 5- Results of simulation programs

### Results of the first case:

get a **text document** showing for  $jj = 6000$  points of the studied path of the center of the table the following data in the order shown in the table 2 (this is if the constant in the exponential decreasing continuation achieves a number of points sufficient to divide the path to 6000 points):

Table 2- Clarify the order of data in the text document

Serial number of the point (j)	Old coordinates of the center of the table					New coordinates of the center of the table					The coordinates of the working part of each follower, necessary for the robot to move to a new point					
	$x_{0s}$	$y_{0s}$	$z_{0s}$	$a_0$	$b_0$	$x_s$	$y_s$	$z_s$	a	b	$p_{z1}$	$p_{z2}$	$p_{z3}$	$p_{z4}$	$p_{z5}$	$p_{z6}$
0																
1																
:																
:																
jj																

Note that the new coordinates of the center of the table in one line will be the same as the old coordinates of the center of the table in the next line.

And get the figure 12, which is a graph of the change in  $P_{zi}$  values over a period of time  $t$  to achieve the studied state.

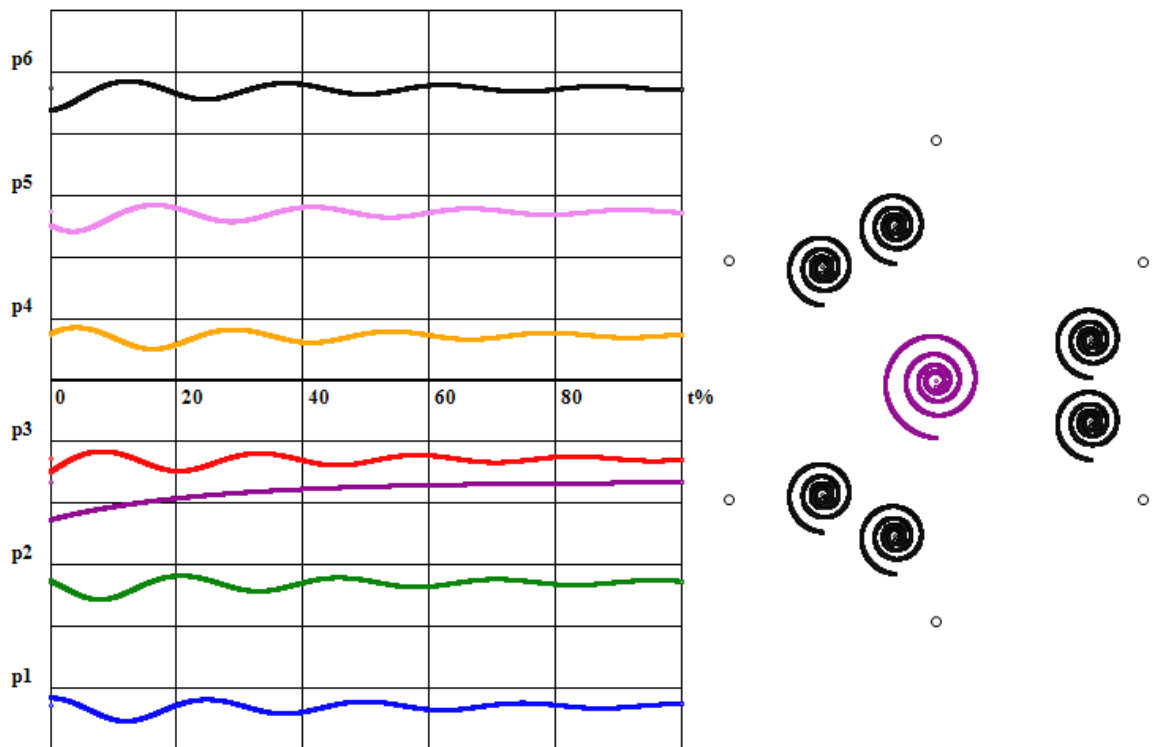




Figure 12 - A graph of the values  $P_{zi}$  over the time period necessary to achieve the first case

**Results of the second case:**

Similar to the first case, also get a text document showing for  $jj = 6000$  points of the studied path to the center of the table in this case, containing the same data and in the same order as shown in the first case.

The rotation of the table around the X-axis or around the Y-axis does not affect the coordinates of the center of the table, so we find that the values of a, b in the old coordinate fields of the center of the table are always zero, but the values of the angles of rotation a, b for each point under study in this case will be written in the new coordinate fields of the center of the table.

And we get the figure 13, which is a graph of the change in the values of  $P_{zi}$  over a period of time t to achieve the studied state.

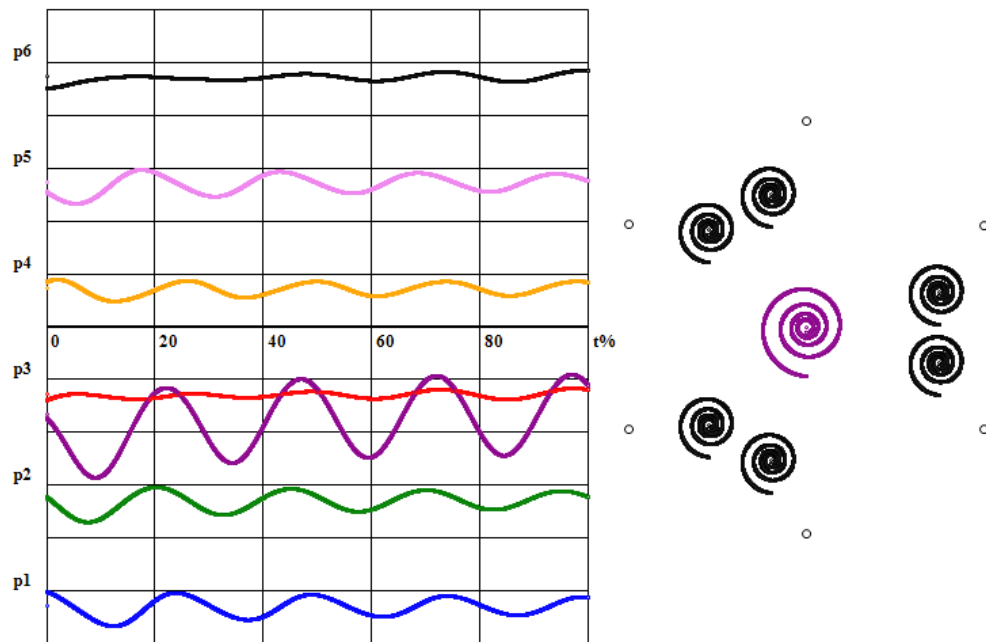


Figure 13 - A graph of the  $P_{zi}$  values over the time period necessary to achieve the second case

**Conclusions**

**Conclusions of the first case:**

From the right part of the figure 12 are deduced the following points:

- 1) The center of the table will draw in the plane X, Y and clockwise, a spiral with a maximum radius of 20 and consisting of 4 turns.

2) That each of the connection points of the connecting rods with the table also draws a spiral in the X, Y plane similar to the spiral drawn by the center of the table.

And from the left part of the figure and reading the coordinate values from the text document are deduced the following points:

1) At the initial point where the coordinates of the center of the table are ( $X_s=0$ ,  $Y_s=0$ ,  $Z_s=80$   $a=0$ ,  $b=0$ ), where the table and the base are centered and parallel, the **Pzi** value for each pusher is the same and is equal to 11,69. This is shown in the figure with the single colored dots located on the left black vertical axis.

2) At the next point where the coordinates of the point the robot is required to reach, or in other words the new coordinates of the center of the table are ( $X_s=-0,08$ ,  $Y_s=19,99$ ,  $Z_s=80$   $a=0$ ,  $b=0$ ) the **Pzi** values change clearly and are the starting points of each curve located on the left black vertical axis.

Where  $Pz_1=6,25$ ;  $Pz_2=10,67$ ;  $Pz_3=20,73$ ;  $Pz_4=10,70$ ;  $Pz_5=20,94$ ;  $Pz_6=26,88$ .

3) All values **Pzi** are less than 40 and this corresponds to its maximum value equal to 40.

4) Each curve **Pzi** takes the form of sinusoidal curves of decreasing amplitude in each of the spiral rolls drawn by the center of the table.

5) The curve of the sum of the **Pzi** values at each studied point shows that the sum of the  $p_{zi}$  values decreases according to an exponential dependence during the decreasing coordinates of the studied points X, Y also according to an exponential dependence.

### Conclusions of the second case:

From the left part of the figure 13 and reading the coordinate values of the text document and comparing the results of the second case with the results of the first case, the following points are deduced:

1) Although the rotation of the table around the X-axis or around the Y-axis does not affect the coordinates of the center of the table. But it can be seen how rotation around the X and Y axes at a very small angle of 4 degrees can affect the values of **Pzi**.

2) At the initial point where the coordinates of the center of the table are ( $X_s=0$ ,  $Y_s=0$ ,  $Z_s=80$   $a=0$ ,  $b=0$ ), that is, the table and the base are centered and parallel, and therefore the **Pzi** value for each follower is the same and equal to 11,69. This is shown in the figure with the single colored dots located on the left black vertical axis.

3) At the next point, where the coordinates of the point the robot is required to reach, or in other words, the new coordinates of the center of the table are ( $X_s=-0,08$ ;  $Y_s=19,99$ ;  $Z_s=80$ ;  $a=0$ ;  $b=0$ ) and where the table rotates at two angles of rotation(  $a=4^\circ$ ,  $b= -0,02^\circ$  ), the **Pzi** values change clearly and are the starting points of each curve located on the left black vertical axis.

Where  $Pz1=0,56$ ;  $Pz2=9,14$ ;  $Pz3=16,63$ ;  $Pz4=6,59$ ;  $Pz5=19,39$ ;  $Pz6=21,18$ .

- 4) All values **Pzi** are less than 40, and this corresponds to its maximum value equal to 40.
- 5) Each curve **Pzi** takes the form of sine curves of decreasing amplitude in each of the spiral rolls drawn by the center of the table. But the sinusoidal curves of the followers (1, 2, 3, 4, 5) in this case have larger maximum amplitudes than in the first case and therefore their ripples look clearer.
- 6) The curve of the sum of the values **Pzi** at each studied point takes the form of a sinusoidal curve of decreasing amplitude with decreasing spiral diameter.
- 7) The curve of the sum of the values **Pzi** has a maximum amplitude greater than the maximum amplitude of the curve of the sum of the values **Pzi** in the first case.

# Приложение Б

## Приложение Б.1

```
Program D5kuka;
Uses GraphABC;
type
  ss = record
    x,y,z,a,b, pz:double;
  end;
  st= record x,y:double; end;
var
  xn,yn,dx,dy,ax,by,k,kp :integer;
  rn,rs,l0,fn1,fn2,fn3,fn4,fn5,fn6,xs,ys,zs,xs0,ys0,a0,b0,zs0,
  fs1,fs2,fs3,fs4,fs5,fs6, fa,fb,a,b,fam,fap, fbm,fbp,sum:double;
  zt,zt0,za,zb:array[1..6] of double;
  p: array [1..6] of ss;
  s,n,s0:array [1..6] of st;
  Dm: Text;
  tx,ty :byte;
  i,j,jj,tt:longint;
  s1:String;
begin
  ax:=800; by:=550;
  SetWindowSize(ax,by);
  SetWindowCaption('5D - koordinati');
  Font.Name := 'Times New Roman';
  Font.Style := fsBold;
  Font.Size := 10;
  Font.Color := clBlack;
  xn:=50; yn:=260;
  dx:=ax div 10;
  dy:=by div 14 ;
  tx:=2*TextWidth('M');
  ty:=TextHeight('M');
  for i := 0 to 5 do
    for k := 12 downto 0 do
      begin
        DrawRectangle(xn, yn, xn + dx * i, yn + dy * (6 - k));
        if k = 6 then
          begin
            case i of
              0: s1:= '0'; 1: s1 := '20';
              2: s1 := '40'; 3: s1 := '60';
              4: s1 := '80'; 5: s1 := 't%';
            end;
            TextOut(xn + dx * i + 3, yn + 3, s1);
          end;
        if i = 0 then
          begin
            case k of
              0: s1 := ' '; 1: s1 := ' p1 ';
              2: s1:= ' '; 3: s1 := ' p2';
              4: s1 := ' '; 5: s1 := ' p3';
              6: s1 := ' '; 7: s1 := ' p4';
              8: s1 := ' '; 9: s1 := ' p5';
              10: s1 := ' '; 11: s1 := ' p6';
              12 :s1 := ' ';
            end;
            TextOut(xn + dx * i - tx, yn + dy * (6 - k) - ty, s1);
```

```

    end;

end;

{Data: var}
a:=0; b:=0; xs:=0; ys:=0; zs:=80;
{ Я изменила знак ZS, потому что его значение не может быть отрицательным для
набора координат основания}
a0:=a;b0:=b; xs0:=xs;ys0:=ys;zs0:=zs;
{Data Const}
rn:=95;rs:=85; l0:=60;
fn1:=pi*30/180;fn2:=pi*90/180;fn3:=pi*150/180;
fn4:=pi*210/180;fn5:=pi*270/180;fn6:=-30*pi/180;
fs1:=pi*15/180;fs2:=pi*105/180; fs3:=pi*135/180;
fs4:=pi*225/180; fs5:=pi*255/180; fs6:=pi*-15/180;
{Data: a,b - rad}
fa:=pi*a/180; fb:=pi*b/180; fam:=-fa; fap:= fa;fbp:=fb; fbm:=-fb;
jj:=6000; kp:=2;
{End data}
{x,y - координаты толкателей на основании:}

for i:=1 to 6 do
begin with n[i] do
case i of
1: begin x:=rn*cos(fn1); y:=rn*sin(fn1); end;
2: begin x:=rn*cos(fn2); y:=rn*sin(fn2);end;
3: begin x:=rn*cos(fn3); y:=rn*sin(fn3);end;
4: begin x:=rn*cos(fn4); y:=rn*sin(fn4);end;
5: begin x:=rn*cos(fn5); y:=rn*sin(fn5);end;
6: begin x:=rn*cos(fn6); y:=rn*sin(fn6);end;
end {case};
circle (xn+7*dx+trunc(0.02*dx*n[i].x), yn+trunc(0.02*dx*n[i].y),3);
{write (n[i].x:3:2, ' ',n[i].y:3:2, ' ');}
end; {writeln;}
//open file
Assign (Dm,'dml.txt');
Rewrite(Dm);
Repeat
{координаты концов шатунов на столе:}

for i:=1 to 6 do
begin with s0[i] do
case i of
1: begin x:=rs*cos(fs1)+xs; y:=rs*sin(fs1)+ys; end;
2: begin x:=rs*cos(fs2)+xs; y:=rs*sin(fs2)+ys;end;
3: begin x:=rs*cos(fs3)+xs; y:=rs*sin(fs3)+ys;end;
4: begin x:=rs*cos(fs4)+xs; y:=rs*sin(fs4)+ys;end;
5: begin x:=rs*cos(fs5)+xs; y:=rs*sin(fs5)+ys;end;
6: begin x:=rs*cos(fs6)+xs; y:=rs*sin(fs6)+ys;end;
end {case};
circle (xn+7*dx+trunc(0.015*dx*s0[i].x), yn+trunc(0.015*dx*s0[i].y),1);
end;
for i:=1 to 6 do
begin
zt[i]:= sqrt(sqr(l0) -sqr(n[i].x -s0[i].x) - sqr(n[i].y -s0[i].y) );
end;

fa:=pi*a/180; fb:=pi*b/180; fam:=-fa; fap:= fa;fbp:=fb; fbm:=-fb;
// текущие координаты шатунов и толкателей относительно "0" основания:
for i:=1 to 6 do begin
s[i].x:=s0[i].x* cos(fb); s[i].y:=s0[i].y*cos(fa);
if i in [1,6] then fbp:=fbp else fbp:=fbm;
if i in [1,2,3] then fap:=fap else fap:=fam;

```

```

za[i]:= s[i].x* sin(fb);
zb[i]:=s[i].y*sin(fa) ;
zt[i]:= (za[i] +zb[i]);
zt0[i]:= sqrt(sqr(l0) -sqr(n[i].x -s[i].x) - sqr(n[i].y -s[i].y));
end;

For i:=1 to 6 do begin
with p[i] do
begin
x:=xs;y:=ys; z:=zs;a:=a; b:=b;
pz:=zs-zt0[i]-zt[i]-14;
sum:=sum+pz;
end;
//вывод на экран

Case i of
1: SetPenColor(clblue);
2: SetPenColor(clgreen);
3: SetPenColor(clred);
4: SetPenColor(clOrange);
5: SetPenColor(clViolet);
6: SetPenColor(clBlack);
end; {case}

Circle(xn+trunc(5*dx *j/jj), yn+7*dy-2*i*dy+trunc(2*dy*p[i].pz/rs), 1);

SetPenColor(clDarkMagenta);
if i=6 then begin
Circle(xn+trunc(5*dx *j/jj), yn+trunc(2*dy*sum/rs), 1); {xs}
Circle(xn+7*dx+trunc(4*dy*xs/rs), yn+2*dy- 2*dy+trunc(4*dy*ys/rs), 1);
//Circle(xn+12*dx+trunc(4*dy*zs/rs), yn+2*dy- 2*dy+trunc(4*dy*xs/rs), 1);
//Circle(xn+6*dx+trunc(4*dy*(p[1].pz+p[2].pz+p[6].pz)/rn/3),
//yn+2*dy- 2*dy+trunc(4*dy*(p[4].pz+p[5].pz+p[3].pz)/rn/3), 1);
{ Я изменила координаты так, чтобы :Ось t совпадает с горизонтальной осью
графика суммарной кривой}
end;

SetPenColor(clblack);

end;
inc(j); sum:=0;
xs:=xs0-20*sin(4*kp*pi*j/jj)*exp(-2*j/jj);
ys:=ys0+ 20*cos(4*kp*pi*j/jj)*exp(-2*j/jj);
zs:=zs0- 0*sin(4*kp*pi*j/jj);

a:=a0+0*sin(4*kp*pi*j/jj);
b:=b0+0*cos(4*kp*pi*j/jj);

write(Dm, tt:6, ' ', p[1].x:3:2, ' ', p[1].y:3:2, ' ', p[1].z:3:2, '
', p[1].a:3:2, ' ', p[1].b:3:2, ' ');
write(Dm, xs:3:2, ' ', ys:3:2, ' ', zs:3:2, ' ', a:3:2, ' ', b:3:2, '
');
for i:=1 to 6 do with p[i] do write(Dm, pz:3:2, ' ');
writeln(Dm); inc(tt);
Until j>=jj;

{End Solver}
end.

```

## Приложение Б.2

```
Program D5kuka;
Uses GraphABC;
type
  ss = record
    x,y,z,a,b, pz:double;
  end;
  st= record x,y:double; end;
var
  xn,yn,dx,dy,ax,by,k,kp :integer;
  rn,rs,l0,fn1,fn2,fn3,fn4,fn5,fn6,xs,ys,zs,xs0,ys0,a0,b0,zs0,
  fs1,fs2,fs3,fs4,fs5,fs6, fa,fb,a,b,fam,fap, fbm,fbp,sum:double;
  zt,zt0,za,zb:array[1..6] of double;
  p: array [1..6] of ss;
  s,n,s0:array [1..6] of st;
  Dm: Text;
  tx,ty :byte;
  i,j,jj,tt:longint;
  s1:String;
begin
  ax:=800; by:=550;
  SetWindowSize(ax,by);
  SetWindowCaption('5D - koordinati');
  Font.Name := 'Times New Roman';
  Font.Style := fsBold;
  Font.Size := 10;
  Font.Color := clBlack;
  xn:=50; yn:=260;
  dx:=ax div 10;
  dy:=by div 14 ;
  tx:=2*TextWidth('M');
  ty:=TextHeight('M');
  for i := 0 to 5 do
    for k := 12 downto 0 do
      begin
        DrawRectangle(xn, yn, xn + dx * i, yn + dy * (6 - k));
        if k = 6 then
          begin
            case i of
              0: s1:= '0'; 1: s1 := '20';
              2: s1 := '40'; 3: s1 := '60';
              4: s1 := '80'; 5: s1 := 't%';
            end;
            TextOut(xn + dx * i + 3, yn + 3, s1);
          end;
        if i = 0 then
          begin
            case k of
              0: s1 := ''; 1: s1 := ' p1 ';
              2: s1:= ' '; 3: s1 := ' p2';
              4: s1 := ''; 5: s1 := ' p3';
              6: s1 := ' '; 7: s1 := ' p4';
              8: s1 := ' '; 9: s1 := ' p5';
              10: s1 := ' '; 11: s1 := ' p6';
              12 :s1 := ' ';
            end;
            TextOut(xn + dx * i - tx, yn + dy * (6 - k) - ty, s1);
          end;
        end;
      end;
    end;
  end;
```

```

end;

{Data: var}
a:=0; b:=0;xs:=0; ys:=0;zs:=80;
{ Я изменила знак ZS, потому что его значение не может быть отрицательным для
набора координат основания}
a0:=a;b0:=b; xs0:=xs;ys0:=ys;zs0:=zs;
{Data Const}
rn:=95;rs:=85; l0:=60;
fn1:=pi*30/180;fn2:=pi*90/180;fn3:=pi*150/180;
fn4:=pi*210/180;fn5:=pi*270/180;fn6:=-30*pi/180;
fs1:=pi*15/180;fs2:=pi*105/180; fs3:=pi*135/180;
fs4:=pi*225/180; fs5:=pi*255/180; fs6:=pi*-15/180;
{Data: a,b - rad}
fa:=pi*a/180; fb:=pi*b/180; fam:=-fa; fap:= fa;fbp:=fb; fbm:=-fb;
jj:=6000; kp:=2;
{End data}
{x,y - координаты толкателей на основании:}

for i:=1 to 6 do
begin with n[i] do
case i of
1: begin x:=rn*cos(fn1); y:=rn*sin(fn1); end;
2: begin x:=rn*cos(fn2); y:=rn*sin(fn2);end;
3: begin x:=rn*cos(fn3); y:=rn*sin(fn3);end;
4: begin x:=rn*cos(fn4); y:=rn*sin(fn4);end;
5: begin x:=rn*cos(fn5); y:=rn*sin(fn5);end;
6: begin x:=rn*cos(fn6); y:=rn*sin(fn6);end;
end {case};
circle (xn+7*dx+trunc(0.02*dx*n[i].x), yn+trunc(0.02*dx*n[i].y),3);
{write (n[i].x:3:2,' ',n[i].y:3:2,' ');}
end; {writeln;}
//open file
Assign (Dm,'dm1.txt');
Rewrite(Dm);
Repeat
{координаты концов шатунов на столе:}

for i:=1 to 6 do
begin with s0[i] do
case i of
1: begin x:=rs*cos(fs1)+xs; y:=rs*sin(fs1)+ys; end;
2: begin x:=rs*cos(fs2)+xs; y:=rs*sin(fs2)+ys;end;
3: begin x:=rs*cos(fs3)+xs; y:=rs*sin(fs3)+ys;end;
4: begin x:=rs*cos(fs4)+xs; y:=rs*sin(fs4)+ys;end;
5: begin x:=rs*cos(fs5)+xs; y:=rs*sin(fs5)+ys;end;
6: begin x:=rs*cos(fs6)+xs; y:=rs*sin(fs6)+ys;end;
end {case};
circle (xn+7*dx+trunc(0.015*dx*s0[i].x), yn+trunc(0.015*dx*s0[i].y),1);
end;
for i:=1 to 6 do
begin
zt[i]:= sqrt(sqr(l0) -sqr(n[i].x -s0[i].x) - sqr(n[i].y -s0[i].y) );
end;

fa:=pi*a/180; fb:=pi*b/180; fam:=-fa; fap:= fa;fbp:=fb; fbm:=-fb;
// текущие координаты шатунов и толкателей относительно "0" основания:
for i:=1 to 6 do begin
s[i].x:=s0[i].x* cos(fb); s[i].y:=s0[i].y*cos(fa);
if i in [1,6] then fb:=fbp else fb:=fbm;
if i in [1,2,3] then fa:=fap else fa:=fam;
za[i]:= s[i].x* sin(fb);
zb[i]:=s[i].y*sin(fa) ;

```



```

zt[i]:= (za[i] +zb[i]);
zt0[i]:= sqrt(sqr(l0) -sqr(n[i].x -s[i].x) - sqr(n[i].y -s[i].y));
end;

For i:=1 to 6 do begin
with p[i] do
begin
x:=xs;y:=ys; z:=zs;a:=a; b:=b;
pz:=zs-zt0[i]-zt[i]-14;
sum:=sum+pz;
end;
//вывод на экран

Case i of
1: SetPenColor(clblue);
2: SetPenColor(clgreen);
3: SetPenColor(clred);
4: SetPenColor(clOrange);
5: SetPenColor(clViolet);
6: SetPenColor(clBlack);
end; {case}

Circle(xn+trunc(5*dx *j/jj),yn+7*dy-2*i*dy+trunc(2*dy*p[i].pz/rs),1);

SetPenColor(clDarkMagenta);
if i=6 then begin
Circle(xn+trunc(5*dx *j/jj),yn+trunc(2*dy*sum/rs),1); {xs}
Circle(xn+7*dx+trunc(4*dy*xs/rs),yn+2*dy- 2*dy+trunc(4*dy*ys/rs),1);
//Circle(xn+12*dx+trunc(4*dy*zs/rs),yn+2*dy- 2*dy+trunc(4*dy*xs/rs),1);
//Circle(xn+6*dx+trunc(4*dy*(p[1].pz+p[2].pz+p[6].pz)/rn/3),
//yn+2*dy- 2*dy+trunc(4*dy*(p[4].pz+p[5].pz+p[3].pz)/rn/3),1);
{ Я изменила координаты так, чтобы :Ось t совпадает с горизонтальной осью
графика суммарной кривой}
end;

SetPenColor(clblack);

end;
inc(j); sum:=0;
xs:=xs0-20*sin(4*kp*pi*j/jj)*exp(-2*j/jj);
ys:=ys0+ 20*cos(4*kp*pi*j/jj)*exp(-2*j/jj);
zs:=zs0- 0*sin(4*kp*pi*j/jj);

a:=a0-4*sin(4*kp*pi*j/jj);
b:=b0+4*cos(4*kp*pi*j/jj);

write(Dm,tt:6,' ', p[1].x:3:2,' ',p[1].y:3:2,' ',p[1].z:3:2,'
',p[1].a:3:2,' ',p[1].b:3:2,' ');
write(Dm,xs:3:2,' ',ys:3:2,' ',zs:3:2,' ',a:3:2,' ',b:3:2,'
');
for i:=1 to 6 do with p[i] do write(Dm,pz:3:2,' ');

writeln(Dm);inc(tt);
Until j>=jj;

{End Solver}

end.

```