

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии им. А.Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технология
машиностроительного производства»

Енсебаев Аллан Серикович

«Компьютерное моделирование манипулятора типа «Рука»

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В071200 – Машиностроение

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии им. А. Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технология
машиностроительного производства»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
СМиТМП, PhD

Арымбеков Б.С.

2019г.



ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Компьютерное моделирование манипулятора типа «Рука»
по специальности: 5В071200 - Машиностроение

Выполнил

Рецензент
д-ф PhD
Старший преподаватель КазНАУ
Удербаета А.Е.

« 29 » апрель 2019г.

Енсебаев А.С.

Научный руководитель
канд. техн. наук, сеньор
лектор Исаметова М.Е.

« 29 » апрель 2019г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии им. А.Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технология машиностроитель-
ного производства»

5B071200 – Машиностроение

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

СМиТМЭ PhD, ассоц.проф.

Арымбеков Б.С.

2019г.



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Енсебаеву Аллану Сериковичу

Тема: Компьютерное моделирование манипулятора типа «Рука»
приказом Ректора Университета № 1252-п от «06» ноября 2018г.

Срок сдачи законченной работы «2» мая 2019г.

Исходные данные к дипломной работе: промышленный манипулятор типа
«Рука»

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Описание существующих манипуляторов
- б) Назначение моделируемой модели
- в) Расчёт прямой и обратной задачи кинематики
- г) 3D моделирование манипулятора
- д) Выводы и заключение с помощью программы MSC Adams

Перечень графического материала: Чертёж манипулятора – 2 листа формата А4,
представлены ___ слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 3 наименований

а) Белянин П. Н. Промышленные роботы и их применение. -М.: Машино-
строение, 2012. – 74 с

б) Тумасов А. В., Костин С. Ю., Вашурин П. С. Моделирование машин и
механизмов в среде MSC. ADAMS. – Н. Новгород, 2011.

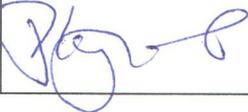
в) Кулешов В. С., Лакота Н. А., Андрунин В. В. Дистанционно управляе-
мые роботы и манипуляторы. – М.: Машиностроение, 1986

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
Поиск информации Обзор литературы Общая часть Классификация манипуляторов	09.01.19 - 15.02.19	Выполнено
Расчётная часть Графическая часть	15.02.19 – 21.04.19	выполнено
Выводы по программе MSC Adams	22.04.19 – 23.04.19	выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу
с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Карпеков Р.К., лектор	29.04.2019	

Научный руководитель  Исаметова М. Е.

Задание принял к исполнению обучающийся  Енсебаев А. С.

Дата

" 3 " ноября 2018 г.

АННОТАЦИЯ

Тема дипломной работы «Компьютерное моделирование манипулятора типа «Рука».

В введении можно наблюдать актуальность, а также эффективность и необходимость в применении автоматизированных машин, которые значительно облегчают задачу на производстве.

Первая часть освещает основные понятия и определения, также сюда включена классификация и область применения.

Вторая часть включает в себя назначение манипулятора, решение прямой и обратной задачи кинематики, а также выбор программы САПР для дальнейшего моделирования. В этой же части освещается моделирование отдельных частей манипулятора.

Готовая модель манипулятора в дальнейшем будет подвергаться испытаниям в программе MSC Adams. Данная программа позволяет в реальном времени наблюдать изменения различных параметров. Осуществляется пошаговая симуляция робота, при помощи уже имеющихся программных обеспечений, которые встроены в данную программу.

В заключении можно наблюдать результаты, полученные при помощи программы MSC Adams и также возможность их применения в дальнейшем. Также рассматривается особенность данной программы.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыс тақырыбы: «Қол типті манипуляторды компьютерлік модельдеу».

Кіріспеде сіз өзіңіздің маңыздылығын байқай аласыз, сондай-ақ өндірістің міндеттерін жеңілдететін автоматтандырылған машиналарды пайдаланудың тиімділігі мен қажеттілігі.

Бірінші бөлімде жіктелу мен ауқымда қамтылған негізгі түсініктер мен анықтамалар қамтылған.

Екінші бөлікте манипуляторды тағайындау, тікелей және кері кинематикалық есептерді шешу, сондай-ақ одан әрі модельдеу үшін АЖЖ бағдарламасын таңдау кіреді. Сол бөлігінде манипулятордың жекелеген бөліктері туралы айтылады.

Манипулятордың дайын моделі MSC Adams бағдарламасында одан әрі тестілеуден өтеді. Бұл бағдарлама түрлі параметрлердегі өзгерістерді нақты уақыт режимінде бақылауға мүмкіндік береді. Роботты кезең-кезеңмен модельдеу жүзеге асырылады, қазірдің өзінде қолда бар бағдарламалық қамтамасыз етуді пайдалана отырады.

Қорытындылай келе, MSC Adams бағдарламасы бойынша алынған нәтижелерді және болашақта оларды пайдалану мүмкіндігін қадағалай аласыз. Сондай-ақ осы бағдарламаның ерекшелігі қарастырылды.

ANNOTATION

Thesis: «Computer simulation of the arm type manipulator».

In the introduction, you can observe the relevance, as well as the effectiveness and the need to use automated machines that greatly facilitate the task of production.

The first part covers the basic concepts and definitions, also included in the classification and scope. This part required deep analysis of the industry of manipulator and robotics. By analyzing this information the conclusion was drawn that there is a big need in further development of this industry.

The second part includes the appointment of a manipulator, the solution of the direct and inverse kinematics problems, as well as the choice of a CAD program for further modeling. In the same part, the simulation of individual parts of the manipulator is covered.

The finished model of the manipulator will be further tested in the MSC Adams program. This program allows you to observe changes in various parameters in real time. A step-by-step simulation of the robot is carried out using existing software that is built into this program.

In conclusion, we can observe the results obtained using the MSC Adams program and also the possibility of their use in the future. Also considered a feature of this program.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Классификация роботов и область их применения	10
1.1 Основные понятия и определения	10
1.2 Классификация мехатронных комплексов	12
1.3 Системы координат в промышленных манипуляторах	15
1.4 Режимы работы промышленных манипуляторов	17
2 Назначение манипулятора	20
2.1 Решение прямой и обратной задачи кинематики	20
2.2 Выбор САПР	24
2.3 Моделирование звеньев	25
2.4 Моделирование основания	25
2.5 Моделирование схвата	26
3 Создание всей модели	27
3.1 MSC.ADAMS	28
3.2 Подготовка для импортирования	29
3.3 Импортирование и симуляция в программе MSC Adams	29
4 Выводы из программы MSC Adams	35
Заключение	36
Список использованной литературы	37
Приложение А	
Приложение Б	

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день практически по всех областях промышленности используются промышленные роботы, которые применяются для выполнения тех или иных задач. Промышленные робот-манипулятор – это устройство, которое обладает широким спектром возможностей, начиная от погрузки или разгрузки материалов, и заканчивая применением в пищевой промышленности.

Во многих производственных компаниях идёт переход на автоматический вид производства. Автоматизация производства повышает не только время выполнения заказа, но и качество конечного продукта. Благодаря этому уменьшается риск получения травмы на предприятии.

Целью работы было моделирование и симуляция движения манипулятора-руки. В настоящее время существует много CAD/CAE программ, которые позволяют смоделировать и симитировать движение того или иного аппарата. В работе будет описана программа MSC Adams, благодаря которой и возможно симуляция в реальном времени с возможностью полного анализа любой части манипулятора. Все данные фиксируются и могут быть выведены с помощью любого текстового редактора. Сами по себе манипуляторы являются сложными электромеханическими объектами, которые обладают различными особенностями. У каждого манипулятора существует сложная кинематическая структура, которая включает в себя множество взаимосвязанных звеньев.

1 Классификация роботов и область их применения

1.1 Основные понятия и определения

В современном мире происходит все более тесная интеграция аппаратных и программных частей приборов, которые объединяются в особенные системы, которые несут название «интегральные». В совокупности - все это образует относительно новое понятие, которое называется "мехатроника". Мехатроника представляет собой относительно недавно появившуюся отрасль в области науки и техники. Старший инженер компании Yaskawa Electric по имени Тецуро Мориа ввёл данный термин в 1969 году. Термином представляется связка из двух уже известных слов – "mecha", образованная от слова механика и "tronic", произошедший от слова электроника. Общий смысл образованного слова содержит в себе слияние трёх отраслей наук:

1) электроника, которая содержит микроэлектронику, измерители информации, и т.п.

2) механика и электромеханика, которые состоят из элементов механики, машинные приборы, различные приводы и т.п.

3) И.Т. технологии, которые содержат в себе теорию систем, различного рода моделирования, искусственный интеллект. Главной причиной всеобщего внимания к данной науке является нарастающее требование к автоматизации всего производства и повышение точности и создания специальных производственных машин, которые обладают новыми свойствами.

Промышленный робот является универсальной, многоцелевой машиной, способной обеспечивать некоторые возможности человека с помощью заранее подготовленных пакетов программирования для обеспечения вывода тех или иных задач.

Манипулятором является многозвенный аппарат, где среди некоторых элементов присутствуют связи, образованные механическим путём. Исходя из того или иного способа применения, механические части манипуляторов можно представить в виде всевозможных схем. Несмотря на свободу выбора схем в тех или иных областях, большая часть манипуляторов включает в себя последовательность звеньев, соединенных между собой с помощью вращательных и поступательных пар. Сейчас вращательная система координат является более конкурентно способной среди остальных. Основным плюсом данной системы является способность покрыть большую часть рабочей зоны. Благодаря этому достигается того или иного положения рабочего органа, а также его ориентации в пространстве. Манипулятором на языке механики можно представить систему, состоящую из упругих, твёрдых тел, связанных между собой различными видами связи. Рассматривая манипуляторы с помощью теории механизмов, то можно сказать, что они представляют собой системы, состоящие из некоторых тел, которые необходимы для преобразования перемещения тел в нужные точки в пространстве. Исходя из этого, можно сказать, что манипуляторы – это некие

пространственные механизмы с необходимым для обеспечения работы и функций числом степеней свободы. Звенья являются твёрдыми телами, входящие в механическую часть или систему манипулятора. Два подвижных звена, соприкасающиеся друг с другом называют кинематической парой.

Кинематические пары классифицируются следующим образом: по числу связей, по числу степеней свободы. Кинематической цепью являются звенья, соединенные между собой, образуя кинематическую пару. Положение манипулятора в пространстве определяется независимыми переменными, которые принимаются числом степеней тех или иных механизмов в обобщенных координатах. На сегодняшний день основными производителями манипуляторов являются фирмы Yaskaws, KUKA, Fanuc.

В настоящий момент на производстве используют манипуляторы, обладающие шестью или более степенями свободы. Благодаря этому происходит точнее позиционирование, а также ориентация положения рабочего органа в пространстве [2].

1.2 Классификация мехатронных комплексов

Разнообразие конструкций для мехатронных комплексов в мире существует огромное множество. На данный момент их можно классифицировать по следующим иерархиям:

1. Системы относящиеся к махромехатронным. К ним можно отнести системы антиблокировки ABS, курсовые устойчивые системы ESP, электрогидравлические системы торможения EHB;
2. Системы относящиеся к манипуляционным. К ним можно отнести классические, многозвенные и манипуляторы на подвижной основе;
3. Маятниковые конструкции. Состоят из таких систем, как маятник Фуруты, Ball-Bot, Segway;
4. Мобильные системы роботехники. Сюда входят гусеничные, колесные, шагающие.

На сегодняшний день существуют множество специалистов, занимающиеся в отрасли машиностроение и роботостроения. Роботов в рамках машиностроения можно разделить по следующим областям: механические, машины или роботы, которые основаны на искусственном интеллекте, машины для перемещения объектов и т.д. Сегодняшние мехатронные комплексы являются очень манипулятивными, чем привлекают использования в более широком спектре применения – в различных космических, подводных исследованиях, в области медицины, в сфере сельского хозяйства, подводных исследований и т.д. На производстве манипуляционные комплексы позволяют исключить использование сил человека на такие работы как: транспортировка, обработка поверхностей, сборка, резка, сварка, упаковка и т.д.

Одним из основных показателей качества манипулятора является его точность позиционирования. Например, для того, чтобы совершить перемещение детали из точки А в точку Б, необходимо, чтобы манипулятор обладал очень хорошей точностью позиционирования и также следил за окружающим пространством. Благодаря этому, перемещение деталей в цеху осуществляется достаточно быстро и безопасно.

Задачи манипуляционных роботов, занимающиеся обработкой поверхностей, можно условно разделить на две группы:

1. Роботы, что занимаются силовой операцией с той или иной поверхностью;
2. Роботы, что занимаются бесконтактной обработкой.

Первая группа включает в себя задачи, в которых манипулятор занимается механической обработкой детали. Для осуществления механической обработки детали необходимо снабдить манипулятор инструментом, позволяющим осуществлять обработку, также необходима поддержка соответствующими алгоритмами. Вторая группа включает в себя операции, которые не предполагает контакта с поверхностью, тем самым осуществляю работу на расстоянии от обрабатываемой детали. Благодаря этому

манипуляторы следует оборудовать специальными датчиками, которые позволят поддерживать постоянное расстояние от поверхности детали [1].

Роботизирование таких операций на производстве позволяет уменьшить к минимуму влияние различных человеческих факторов, тем самым повышая качество изготавливаемой детали. Благодаря этому конечный потребитель ощутит снижение цены на продукцию и повышение её качества. С помощью дополнительных звеньев кинематической цепи, можно увеличить манипулятивность механизма и функциональную гибкость. Манипуляторы бывают многозвенными стационарными и подвижными. Последние в свою очередь обладают большим числом степеней свободы, тем самым они могут выполнять различные задачи в более сложном окружении. Также стоит отметить, что движение в сложном пространстве может вызывать трудности не только в управлении, но и в программировании.

Роботов можно классифицировать по выполняемым технологическим операциям, по грузоподъемности, по типу силового привода, по подвижности основания. По технологическим операциям они бывают (основные, вспомогательные, универсальные); по грузоподъемности бывают (сверхлёгкие (до 10Н), лёгкие (до 100Н), средние (до 2000Н), тяжелые (до 10000Н), сверхтяжелые свыше 10000Н); по типу силового привода бывают (электромеханические, пневматические, гидравлические, комбинированные); по подвижности основания бывают (мобильные, стационарные)

В широких отраслях применяются самые разные варианты манипуляторов, которые могут выполнять различные функции. Как пример, рассмотрим следующие варианты. Сварочные комплексы Arcsystem от фирмы Yaskawa. Комплекс выглядит как последовательно расположенные роботы, количество которых зависит от производства. Количество возможных комбинаций составляет более шестисот. Комплекс подбирается в зависимости от нужд производства.



Рисунок 1 - Yaskawa Motoman Robot [8]

Комбинации могут включать в себя разные сварочные горелки, различные воздушные или водяные охлаждения, треки, которые служат для перемещения робота и служат также основанием.

Манипуляторы немецкого происхождения фирмы Kuka. Манипулятор фирмы Kuka – это шестиосевой робот любого размера и грузоподъемности.



Рисунок 2 – Робот Kuka [9]

Данные роботы позволяют обеспечивать повышенную точность траектории при таких операциях, как герметизация, склеивание, вспенивание и в любых других задачах. Менее грузоподъемные роботы данной фирмы отлично справляются такими операциями как полирование, сборка, загрузка и разгрузка машин, шлифование и т.д.



Рисунок 3 – Манипулятор UR3

Манипуляторы UR3 от Датской компании, которые эксплуатируются с электронными, фармацевтическими и технологическими оборудованьями. Данный манипулятор позволяет справляться со следующими задачами: монтаж деталей, пайка, работа с инструментами, склеивание и окрас деталей. Радиус работы составляет около пятисот миллиметров, это позволяет применять его в более тесных пространствах, а также использовать с любым производственным оборудованием [2].

изготовлении. На рисунке 6 представлен манипулятор, которые работает в данной системе координат.



Рисунок 5 – Манипулятор, обладающей ангулярной системой координат

Сферическая система координат. Сферическая система представляет собой рабочую зону в виде сферы, благодаря этому данная система обладает универсальностью и более лучшими техническими возможностями. Но стоит отметить, что данная схема сложнее предыдущих и иногда возникают трудности в программировании. С такой системой исполнительный орган обладает возможностью перемещаться по более сложной траектории и также использоваться для окрашивания и нанесения различного рода покрытий. На рисунке 5 представлен тип данного манипулятора.

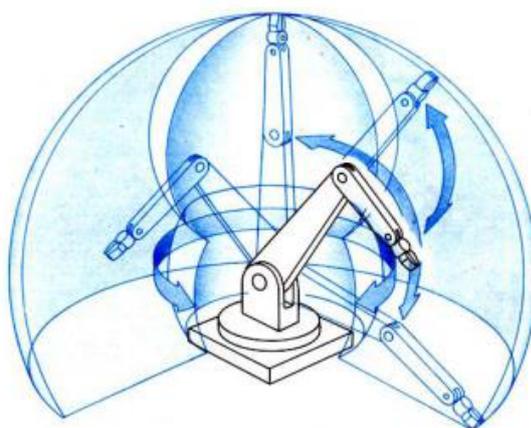


Рисунок 6 – Сферическая система координат [4]

Цилиндрическая система координат. Рабочая зона представляет собой полый цилиндр. Манипулятор, работающий в цилиндрической системе, отличается от прямоугольной тем, что он имеет возможность вращаться вокруг своей оси, благодаря чему увеличивая рабочую зону. Такая кинематическая

схема не предоставляет больших манипуляций для перемещений. На рисунке 2 представлен данный тип схемы.

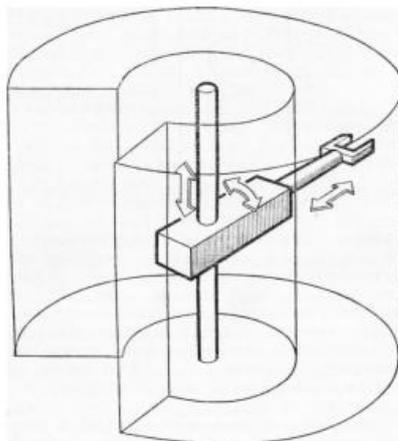


Рисунок 7 – Цилиндрическая система координат [4]

1.4 Режимы работы промышленных манипуляторов

Манипуляторы приводят в управление благодаря специальным программным обеспечением, разрабатываемые на основе predetermined вычислений (аналитическое программирование) или путем обучения (запоминание команд оператора).

В ходе программирования значения могут быть найдены как конечная точка траектории движения исполнительного элемента и весь путь движения. Также существует еще один метод программирования, а именно использование элементов искусственного интеллекта в качестве конечной цели робота. Машине необходимо разработать свой собственный метод ее достижения (траектория движения). Программа имеет возможность быть записанной на носитель данных, перфокарту и на оптические диски. Зачастую роботов программируют жестко, но в настоящее время популярным стало программировать более гибко, для возможности перепрограммирования, что позволяет переналадить манипулятор под другие нужды.

Жесткое программирование представляет собой реализацию монотонной роботизированной последовательности, которая встроена в команды памяти. Принято считать, что окружающая среда является детерминированной, т.е. изменяется относительно времени, постоянными и единообразными, т.е. не подвергаются изменениям, либо все варианты изменения уже являются известными. Данные условия, например, относятся к массе, серийному производству или ряду аналогичных продуктов.

Связь исполнения команд является постоянной или изменяется в predetermined функцию. Иногда функция может зависеть от значений изменений внешней или внутренней управляемой среды робота, в следствии чего в роботы внедряются специальные датчики. Адаптивный программный

робот является набором из нескольких программ, один из которых является основным (аналогичная программа программируемых жестких роботов), а остальная часть - второстепенная, которая осуществляет управление бортовым компьютером на случай изменения внешней среды. Таким образом в дополнение к главным и основным командам содержания программ для непосредственного управления исполнительным механизмом, содержится процедура подключения вспомогательных программ или подпрограмм, когда устройство сталкивается с трудностями. Предусматривается, что среда меняется в зависимости от времени, но количество таких изменений уже предсказано заранее. Все вероятные изменения в заранее рассчитанном алгоритме направлены для преодоления трудностей. Для того, чтобы получить информацию об изменениях в окружающей среде используется специальный набор датчиков, который включает себя видео приложение. Из-за чего, эти механизмы принято называть «глаз-рука». Часто исполняемые инструкции могут реагировать невзирая на необходимость в различных условиях окружающей среды [1].

Наиболее независимыми промышленными роботами являются гибко-программируемые роботы, которые в свою очередь является наиболее сложными. Программное обеспечение данных робот представляет собой математическую модель внешнего мира, а также систему для анализа поступающей информации (с датчиками давления, видеокамерой, звуковыми датчиками и т. д.). Программе необходимо самой принимать решения, человек в свою очередь задает конечную цель. Производится всё это на ранних этапах с помощью оператора, в случае систем самообучения. Программируемые машины для более гибкого «искусственного интеллекта», классические типы роботов относятся к первому, второму и третьему поколению соответственно. В системе управляемых манипуляторов программное обеспечение является аналоговым или цифровым диспетчером сигналов из блока управления, затем преобразует их в команды, которые понятны для исполнительного механизма. Какой бы тип робота (биотехнологический или автоматический) диалог между машиной и человеком неизбежен. Данный диалог может происходить на объектно-ориентированном языке, в виде специальных команд, текстовых сообщений, а также при помощи кнопок и рычагов. Программа предстает в виде числового кода (числовое управление, ЧПУ), аналоговых сигналов (АПУ), комбинированного или серии последовательных операций. В современном мире все роботы почти всегда изготавливаются с ЧПУ. Современные манипуляторы с ЦПУ, которые рассчитаны на объем транзакций от 10 до 50 операций. ЦПУ более разумно использовать в случаях, когда робот совершает ограниченное число движений с небольшим количеством точек позиционирования, а операция занимает короткое время (роботы первого типа). Но, если количество возможных движений, точек позиционирования значительно, а операция требует относительно долгого времени, то используют позиционный контроль (второй тип). При движении по заданному маршруту с уже известной скоростью, используя программный контур управления (третий

тип). Контурное управление представляет собой осуществления контроля движения без эффективного контроля готовой продукции. Механизмы адаптации существуют только с контуром и положением управления. Очень часто система управления физически удаляется из механической системы промышленного манипулятора (робота, крана). Это необходимо для постепенной модернизации возможностей оборудования, а также для управления манипулятором или для исправления его поведения с помощью удаленной консоли при участии в неблагоприятных для человека условиях.

2 Назначение манипулятора

Моделируемая модель предназначена для использования в гибких производственных линиях. Манипулятор будет осуществлять перенос детали от одной конвейерной ленты на другую. Это позволяет сократить время на обработку детали посредством переноса и одной секции в другую.

Гибкие производственные системы представляют собой автономно функционирующие машины-автоматы, которые позволяют осуществлять те или иные действия с заранее запрограммированным алгоритмом. ГПС позволяют сократить время и повысить продуктивность и производстве тех или иных деталей, также это позволяет снизить уровень травматизма на производстве. Роль человека в этой системы – это управление и контроль всей иерархии этого механизма. Основным отличием оператора от робота – это универсальность, ведь достаточно переналадить систему управления манипулятора, позволяющего обслуживать значительный объем пространства.

Основным моментам в управлении манипулятора является своевременное осуществление диагностики и переналадки в зависимости от типов, размеров и массы деталей.

2.1 Решение прямой и обратной задачи кинематики

Система координат главных перемещений и кинематическая схема выбирается методом минимизации количества степеней подвижности. Выбор ориентируется объемами и формой рабочей зоны, и количеством механизированных позиций.

Промышленный манипулятор выделяет собой открытую кинематическую цепь, звенья которой присоединяются друг к другу при поддержке кинематических пар. Как правило, это одноподвижные кинематические пары 5-ого класса – вращательные или же поступательные.

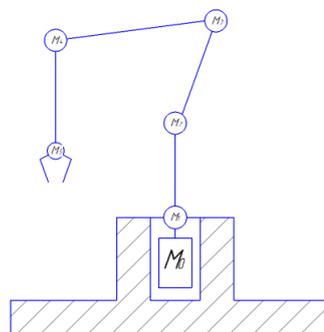


Рисунок 8 – Кинематическая схема манипулятора

Манипулятор будет эксплуатироваться в сферической системе координат, которая представляет собой перемещение робота в области, представляющей собой полую сферу. Такие роботы, в отличие от тех, которые работают в

прямоугольных и плоских системах координат, отличаются большей универсальностью, технологическими возможностями. Но стоит выделить тот факт, что такие они конструктивно более сложные, нежели остальные. Данная сложность может проявляться при программировании и перепрограммировании их. Сферическая система координат позволяет осуществлять перемещение по сложным траекториям и зачастую применяются для нанесения покрытий, сборки и т.д.

Прямая задача кинематики представляет собой поиск вектора положения начальной точки инструмента и его ориентации в той или иной технологической системе координат по уже доступной кинематической схеме и вектору обобщенных координат.

Обратная задача кинематики представляет собой поиск вектора обобщенных координат механизма по уже заданной кинематической схеме и вектора положения и ориентации инструмента в уже известной технологической системе координат.

Вектор положения и ориентации шестимерный:

$$x=[\varphi\theta\alpha\beta\gamma]^T,$$

а вектор обобщенных координат q:

$$q=[q_1q_2q_3q_4q_5q_6]^T$$

где, q называют вектором из n переменных, n – число степеней свободы. Производим линейное преобразование обобщенных координат:

$$q_i=k_i \cdot q_i' + a_i, \text{ где } i=(1,2,3,4,5,6),$$

где k_i – масштабный коэффициент, определяющий связь двигателя и манипулятора, a_i – смещение начала отсчета относительно начала отсчета существующей обобщенной координаты кинематической схемы манипулятора.

На рисунке 8 изображена кинематическая схема исполнительного механизма. На основании рис. 8 и алгоритма строим таблицу обобщенных параметров таблица 1.

Таблица 1 – Обобщенные параметры

Параметры систем координат звеньев манипулятора				
Сочленение i	a_i	d_i	α_i	θ_i
1	0	0	90	θ_1
2	0	0	90	θ_1
3	0	0	90	θ_2
4	0	0	90	θ_3
5	0	0	90	θ_3

Для получения решений прямой кинематической задачи, воспользуемся обобщенными преобразованиями Денавита-Хартенберга, благодаря этому получаем матрицы A_i , для i -го сочленения с условием

$$A_i = \begin{bmatrix} Cq_i & -Sq_i C\alpha_i & Sq_i S\alpha_i & a_i Cq_i \\ Sq_i & Cq_i C\alpha_i & -Cq_i S\alpha_i & a_i Sq_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

где $Cq_i = \cos(q_i)$; $Sq_i = \sin(q_i)$, $i = 1, 2 \dots 6$, A_i ($A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$)

$$A_1 = \begin{bmatrix} Cq_1 & 0 & -Sq_1 & 0 \\ Sq_1 & 0 & Cq_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Поворот вокруг оси Z_0

$$A_2 = \begin{bmatrix} Cq_2 & 0 & -Sq_2 & 0 \\ Sq_2 & 0 & Cq_2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Поворот вокруг оси Z_1

$$A_3 = \begin{bmatrix} Cq_3 & 0 & -Sq_3 & 0 \\ Sq_3 & 0 & Cq_3 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Поворот вокруг оси Z_2

$$A_4 = \begin{bmatrix} Cq_4 & 0 & -Sq_4 & 0 \\ Sq_4 & 0 & Cq_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Поворот вокруг оси Z_3

$$A_5 = \begin{bmatrix} Cq_5 & 0 & -Sq_5 & 0 \\ Sq_5 & 0 & Cq_5 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Поворот вокруг оси Z_4

$$A_6 = \begin{bmatrix} Cq_6 & -Sq_6 & 0 & 0 \\ Sq_6 & Cq_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Получим матрицу положения расчетной точки манипулятора, используя следующее выражение:

$$T = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6$$

Матрица T имеет вид:

$$T = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Полученные при помощи перемножения элементы матрицы T :

$$\begin{aligned} n_x &= Cq_6(Cq_5(Cq_4Cq_1Cq_2 + Sq_1Sq_4) + Cq_1Sq_2Sq_5) - Cq_6(Cq_4Sq_1 - Sq_4Cq_1Cq_2); \\ n_y &= Cq_6(Cq_4Cq_1 - Sq_4Sq_1Cq_2 - Cq_5(Cq_4Cq_2Sq_1 + Sq_4Cq_1) - Sq_1Sq_2Sq_5); \\ n_z &= -Cq_6(Sq_2Sq_4 - Cq_5Cq_4Sq_2 + Cq_2Sq_5); \\ o_x &= -Sq_6(Cq_5(Cq_4Cq_1Cq_2 + Sq_5Sq_1) + Cq_1Sq_2Sq_5) - Cq_6(Cq_4Sq_1 - Sq_4Cq_1Cq_2); \\ o_y &= Sq_6(Cq_6(Cq_4Cq_2Sq_1 + Sq_4Cq_1) - Sq_1Sq_2Sq_5) + Cq_6(Cq_4Cq_1 - Sq_4Cq_2Sq_1); \\ o_z &= Sq_6(Cq_5Cq_3Cq_4 - Cq_2Sq_5) - Cq_6Sq_2Sq_4; \\ a_x &= -Sq_5(Cq_4Cq_1Cq_2 + Cq_4Cq_1) + Cq_1Cq_5Sq_2; \\ a_y &= Sq_1Sq_2Cq_5 + Sq_5(Cq_4Sq_1Cq_2 + Sq_4Cq_1); \\ a_z &= Sq_5Cq_4Sq_2 + Cq_2Cq_5; \\ p_z &= -Cq_1Sq_2d_3; \\ p_y &= -Sq_1Sq_2d_2; \\ p_x &= -d_1 - Cq_2d_3; \end{aligned}$$

Результатом умножения $A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6 = T$ выявилась матрица T , которая устанавливает положение и ориентацию схвата в системе координат.

$$T = \begin{bmatrix} S\alpha C\gamma - C\alpha S\beta S\gamma & S\alpha C\gamma + C\alpha S\beta S\gamma & C\alpha C\beta & P_x \\ -C\alpha C\gamma - S\alpha S\beta S\gamma & -C\alpha C\gamma + S\alpha S\beta S\gamma & -S\alpha C\beta & P_y \\ -C\beta C\gamma & C\beta C\gamma & S\beta & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Для вычисления углов Эйлера запишем:

$$R_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix};$$

$$R_z(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$R_y(\beta) = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\beta) & 0 & -\cos(\beta) \end{bmatrix};$$

$$R_x(\alpha)R_y(\beta)R_z(\gamma) =$$

$$\begin{bmatrix} \cos(\beta)\cos(\gamma) & -\sin(\gamma) \cdot \cos(\beta) & \sin(\beta) \\ \sin(\gamma) \cdot \cos(\beta) - \cos(\gamma) \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\alpha) & \cos(\gamma) \cdot \cos(\beta) + \sin(\gamma) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\alpha) & \cos(\beta)\sin(\alpha) \\ \sin(\gamma) \cdot \cos(\beta) + \cos(\gamma) \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) & \cos(\gamma) \cdot \sin(\beta) - \sin(\gamma) \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) & -\cos(\beta)\cos(\alpha) \end{bmatrix}$$

При сравнении матрицы T_6 и результирующей матрицы получаем

$$\beta = \arcsin(a_x);$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{a_z}{-\cos(\beta)}\right)$$

$$\gamma = \arccos\left(\frac{n_z}{\cos(\beta)}\right)$$

Так же часть матрицы T:

$$p_x = a_2C_1 - d_2S_1 + d_4C_1S_3;$$

$$p_y = a_2S_1 + d_2C_1 + d_4S_1S_3;$$

$$p_z = d_4C_3.$$

2.2 Выбор САПР

3D модель будет выполнена в программе SolidWorks2015. Solidworks предоставляет огромные возможности в моделировании различных механизмов, машин, деталей и т.п. После построения модели в данной

программе, она будет импортирована в программу MSC Adams, где будет осуществляться непосредственно симуляция данной модели.

2.3 Моделирование звеньев

Звено является очень важным элементом робота. Оно должно быть достаточно легким и прочным, также иметь подходящие габаритные размеры. Звенья перфорированы, это делается для того, чтобы сделать их легче.

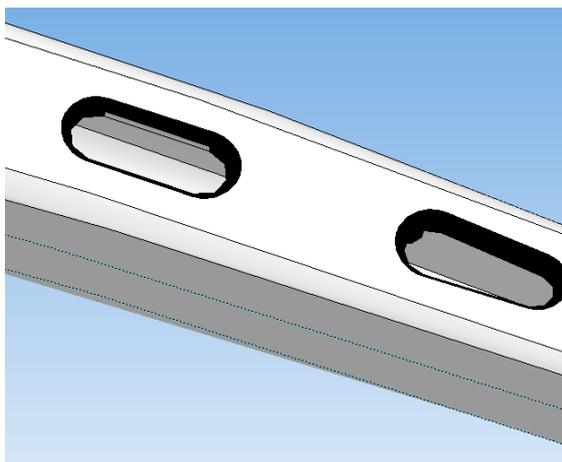


Рисунок 9 – Часть звена

На рисунке 9 представлены перфорации в форме вытянутых овалов, которые позволяют снизить общую массу всего манипулятора, тем самым не потеряв в прочности.

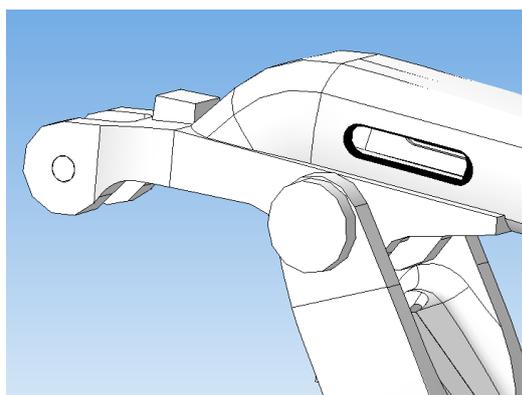


Рисунок 10 – Упор для звена

2.4 Моделирование основания

Для обеспечения вращения робота вокруг вертикальной оси была разработана конструкция, изображенная на рисунке 11. В основании используются два упорных подшипника.

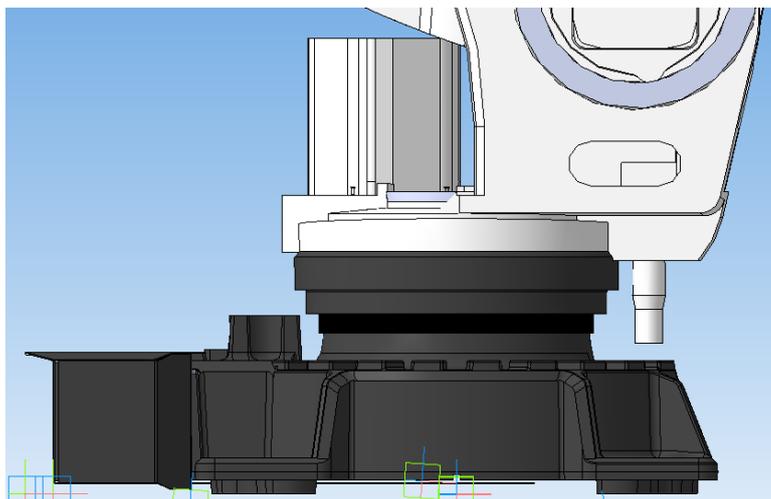


Рисунок 11 – Конструкция вращения

2.5 Моделирование схвата

Схват выполняет роль фиксации предметов для осуществления перемещения, соответственно они должны обладать достаточной силой и прочностью. На рисунке 12 представлена модель схвата для модели.

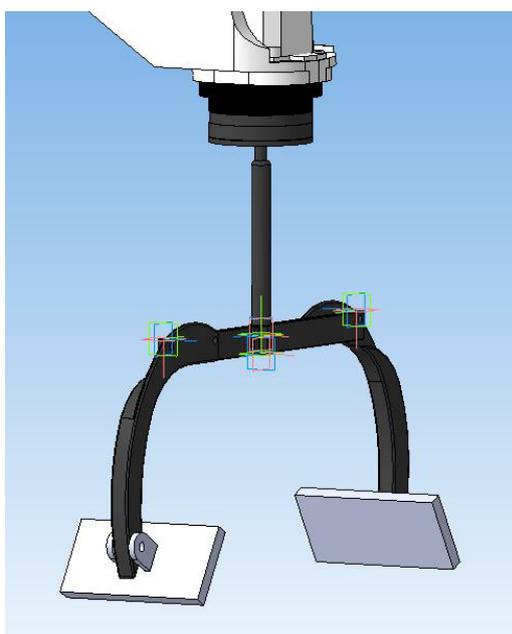


Рисунок 12 – Модель схвата

3 Создание всей модели

Используя ранее смоделированные детали начинаем сборку в единое целое. Необходимо обеспечить повышенную точность, так как модель будет импортирована в программу более высокого класса MSC Adams, для импорта необходимо учесть все нюансы.

Во время сборки возникали незначительные проблемы при стыковке деталей, вызвано это тем, что некоторые детали были неправильно загружены в режим «сборки» программы SolidWorks.

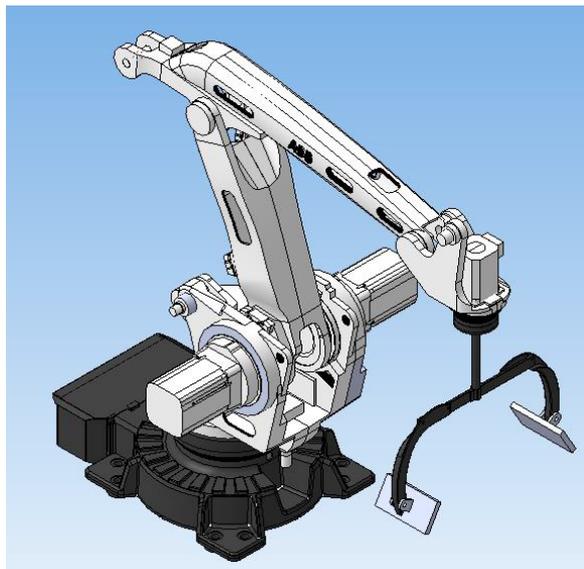


Рисунок 13 – Модель манипулятора (собранная)

На рисунке 13 можем наблюдать полную сборку манипулятора. После того, как была создана 3D модель можно понять углы отклонения звена. Верхнее звено имеет угол отклонения относительно нижнего около 75 градусов. На рисунке 14 можно увидеть угол отклонения.

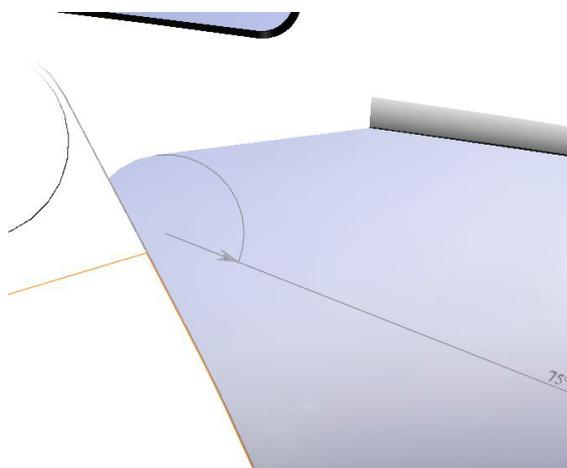


Рисунок 14 – Угол отклонения

3.1 MSC.ADAMS

Adams – представляет собой программный комплекс для виртуального моделирования сложных машин и механизмов. Adams используется для разработки и совершенствования конструкций фактически всего, что движется - от простых механических и электромеханических устройств до автомобилей и самолетов, железнодорожной техники и космических аппаратов и т.д. С помощью Adams можно быстро создать полностью параметризованную модель изделия, строя ее непосредственно в препроцессоре или импортируя из наиболее распространенных САД-систем. Задав связи компонентов модели, приложив нагрузки, определив параметры кинематического воздействия и запустив расчет можно получить данные, полностью идентичные результатам натурных испытаний системы. Таким образом, представление о работе изделия появляется ещё до начала раскроя металла или отливки пластика для изготовления опытного образца.

С помощью этой программы пользователю открываются следующие возможности:

- определение параметров изделия, определяющих его работоспособность и точность;
- определение габаритных размеров пространства, необходимого для её движущихся частей;
- определение уровня действующих нагрузок, необходимой мощности приводов;
- оптимизация параметров изделия

В программном пакете Adams предусмотрена возможность учета податливости компонентов исследуемой машины (механизма). Для этого упругие характеристики частей машины определяются в конечно-элементной системе (например, MD Nastran, MSC Nastran или Marc), а затем в специальном формате с помощью модуля Adams/Flex передаются в Adams и включаются в виртуальную модель. Использование такой модели позволяет не только учесть влияние податливости звеньев на динамику механизма, но также вычислить (с помощью модуля Adams/Durability) и отобразить на экране компьютера непосредственно в среде Adams общий уровень напряжений в упругом компоненте. Результаты расчёта деформаций упругого компонента в Adams могут быть также "переданы" в конечно-элементную систему (MD Nastran или MSC Nastran) для точного определения уровня напряжений с учётом всех особенностей её конфигурации. В дальнейшем эти данные могут быть использованы и для анализа долговечности детали с помощью системы Fatigue. Такая технология обеспечивает существенное повышение точности моделирования современных, оптимизированных по массе высоко динамичных механизмов. Начиная с версии 2008 r1, в программном пакете Adams обеспечивается возможность создания моделей, включающих контактное взаимодействие упругого тела с твёрдым телом, а также двух упругих тел [5].

3.2 Подготовка для импортирования

Прежде чем импортировать модель, необходимо создать условия, при которой можно будет рассмотреть симуляцию движения в действии. Для этого было принято решение создания куба и специальной площадки. На рисунке 15 можно увидеть заранее подготовленную сцену для дальнейших действий.

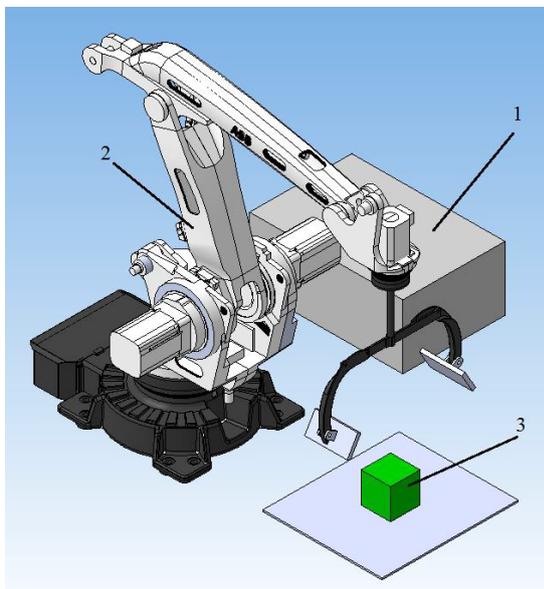


Рисунок 15 – Подготовленная сцена

На рисунке 15 представлены 1 – площадка, 2 – манипулятор, 3 – куб. Суть симуляции заключается в переносе куба с его начального положения на площадку. Симуляция будет происходить в программе MSC Adams.

После подготовки всего необходимого производится вывод модели в нужном нам формате .parasolid. Данный формат поддерживает программа Adams и обеспечивает полную читаемость и взаимодействие.

3.3 Импортирование и симуляция в программе MSC Adams

После открытия программы переходим во вкладку «Импорт» и выбираем модель рис. 16.

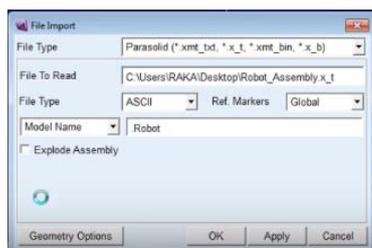


Рисунок 16 - Импорт

После этого открывается модель рис.17.

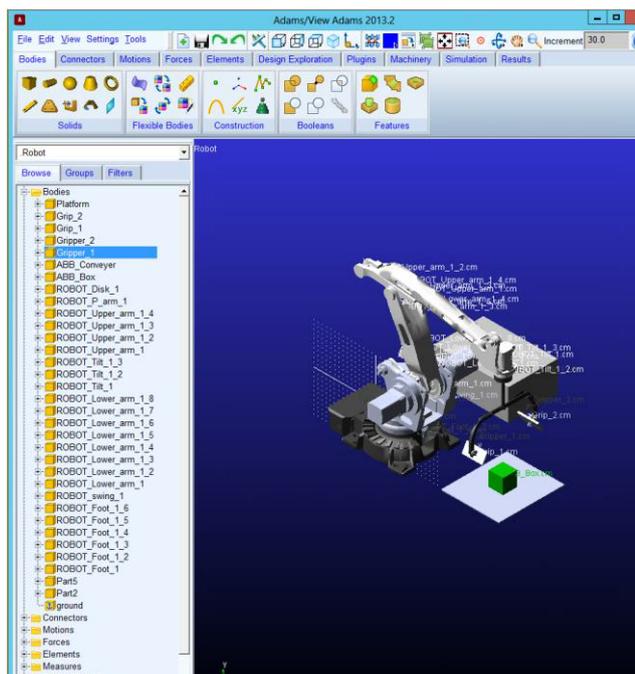


Рисунок 17 – Модель в MSC Adams

Модель успешно импортирована, а значит начинается непосредственно симуляция. Для начала для каждой составляющей нашей модели необходимо назначить материал. В нашем случае это будет сталь.

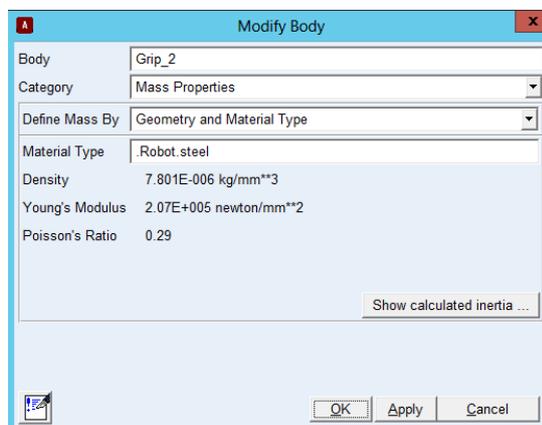


Рисунок 18 – Назначение материала

Затем необходимо назначить нулевую точку в системе координат. Для этого в параметрах выбираем режим выбора нулевой точки и отмечаем центр основания.

Далее необходимо выставить значения вращения для основания. Для этого необходимо выбрать подвижный шарнир у основания и перейти в раздел его параметров. Выбираем ось z и назначаем 90 градусов поворота, так как необходимо провести поворот на 90 градусов, чтобы переместить куб на площадку.

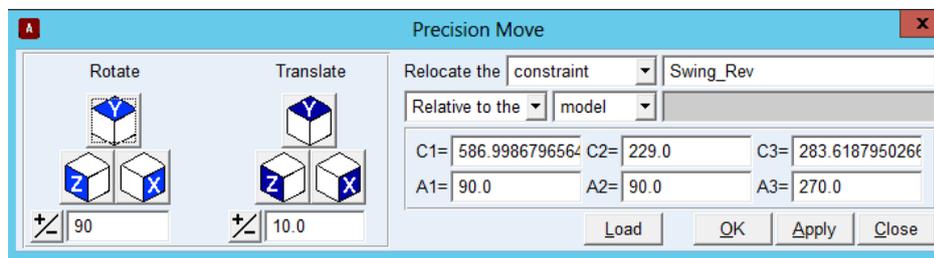


Рисунок 21 – Поворот по оси z

Это же действие необходимо применить для остальных подвижных шарниров.

После проделанной работы можно перейти к вкладке «Motion», который отвечает за движение наших звеньев. Движение необходимо назначить в подвижных шарнирах. Для этого переходим во вкладку «Motions», где выбираем движение посредством вращения. После этого расставляем в местах с подвижным шарниром, т.е. в местах соединения наших звеньев, основания и схвата. Схват в свою очередь состоит из двух компонентов, которые соединяются подвижным шарниром. Нужно очень точно расставить маркеры движения в схвате, для того, чтобы обеспечить корректное движение механизма захвата рис. 22.

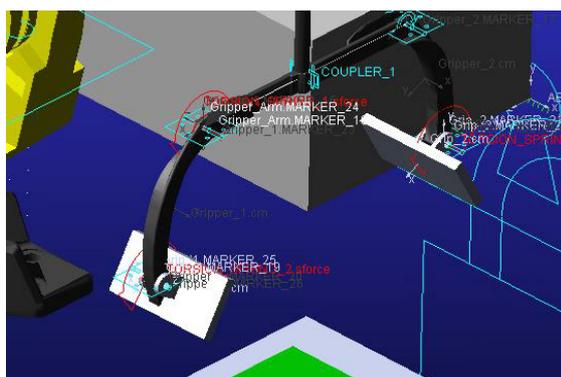


Рисунок 22 – Движение в схвате

Далее для того, чтобы заставить схват захватить наш объект, необходимо добавить следующий параметр – силу. В нашем случае будем использовать силу кручения «Torsion». Заранее задав движение схватам, таким же образом во вкладке «Forces» выбираем «Rotational Spring-Damper». Здесь нужно выбрать два объекта и место, куда будет приложена сила. В нашем случае это схват и

поддерживающее звено, которое соединено со схватом. Далее в параметрах выставляем жесткость и демпфирование. Эти параметры необходимо подбирать в соответствии с материалом, т.е. зависит от прочности и устойчивости.

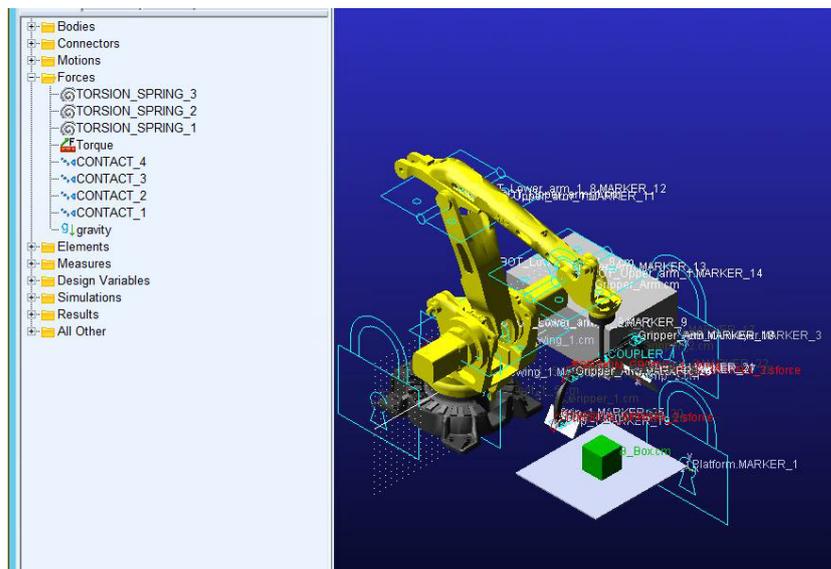


Рисунок 23 – Все установленные силы

После того, как все силы, крутящие моменты расставлены, пришло время ввести функции в параметры «Motion». Это позволит заставить двигаться нашу конструкцию.

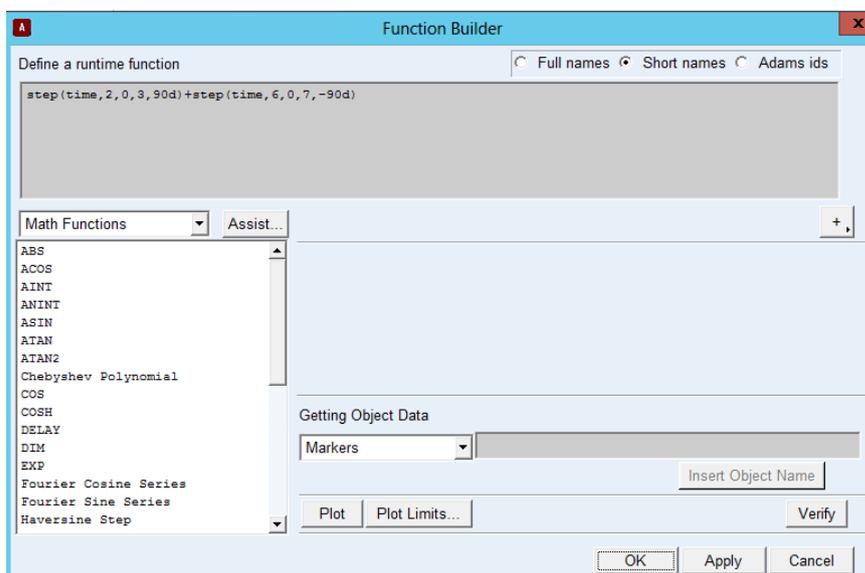


Рисунок 24 – Функция движения манипулятора

С помощью этого кода, идет уточнение времени и момента, когда необходимо произвести поворот или наклон.

После того, как все действия были выполнены направляемся во вкладку «Simulation» и нажимаем на символ «Play».

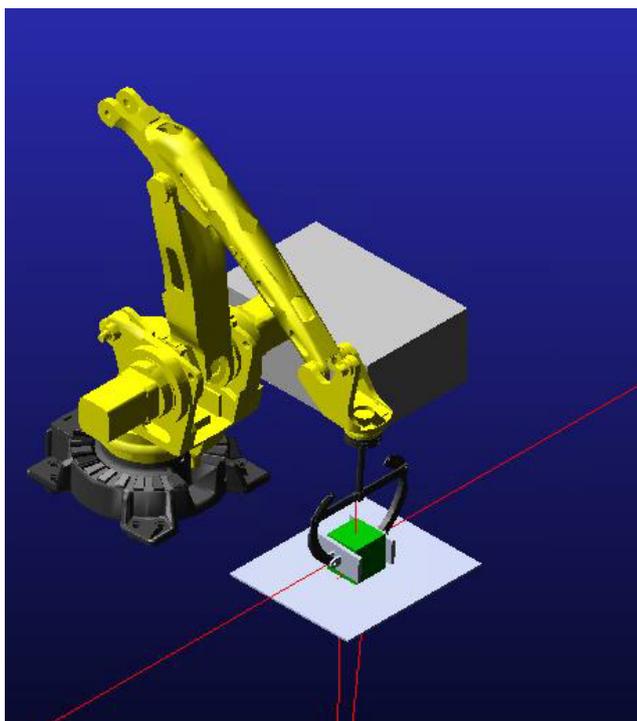


Рисунок 25 – Симуляция захвата объекта

Манипулятор начнет свое движение по координатам, которые были заданы в параметрах «Motion». Самое главное не допустить ошибок во время назначения сил, крутящих моментов.

4 Выводы из программы MSC Adams

Благодаря данному пакету программ мы создали симуляцию движения манипулятора на основе изначальных данных. Программа также позволяет заниматься пост-процессами, что позволяет анализировать движения, координацию, кинетическую и потенциальную силы, траекторией движение в реальном времени и т.д.

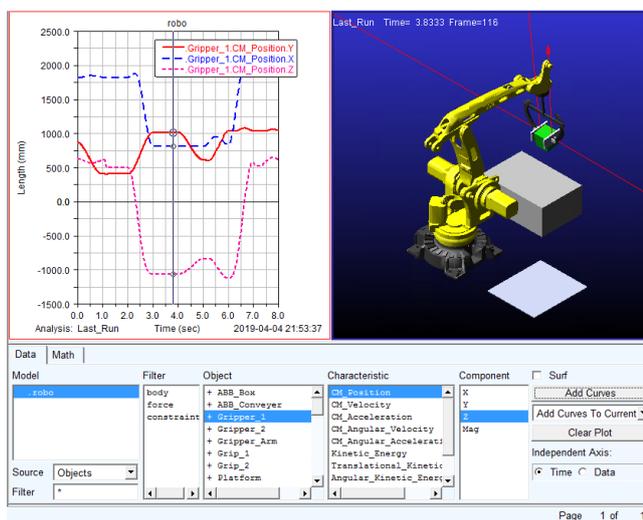


Рисунок 26 – График изменения положения

На рисунке 26 наглядно изображено изменения положения верхнего звена по оси z относительно времени. На рисунке можно отследить его положение на любом временном отрезке.

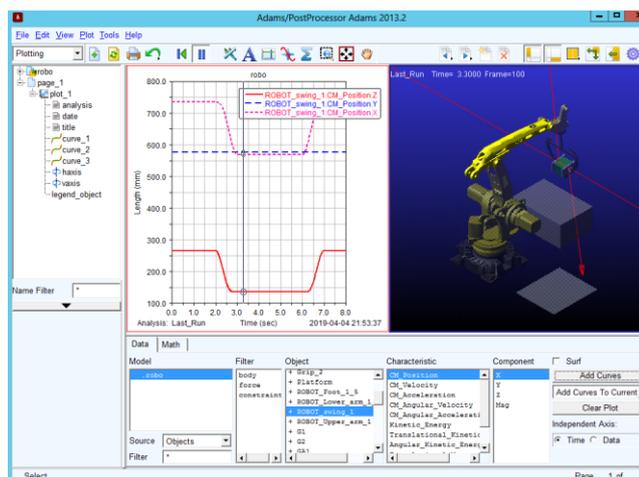


Рисунок 27 – Изменения положения основания

На рисунке 27 изображено движение основание по оси x относительно времени. Также есть возможность отслеживания положения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во время выполнения работы были сделаны выводы касательно не только манипуляторов, но и всей машиностроительной индустрии в целом.

Осветились вопросы касательно классификации роботов, манипуляторов. Обратили внимание на перспективность роботов в целом. Вследствие этого был сделан вывод, что современный мир шагает в сторону полной автоматизации, где человек выступает в роли оператора и контроллера.

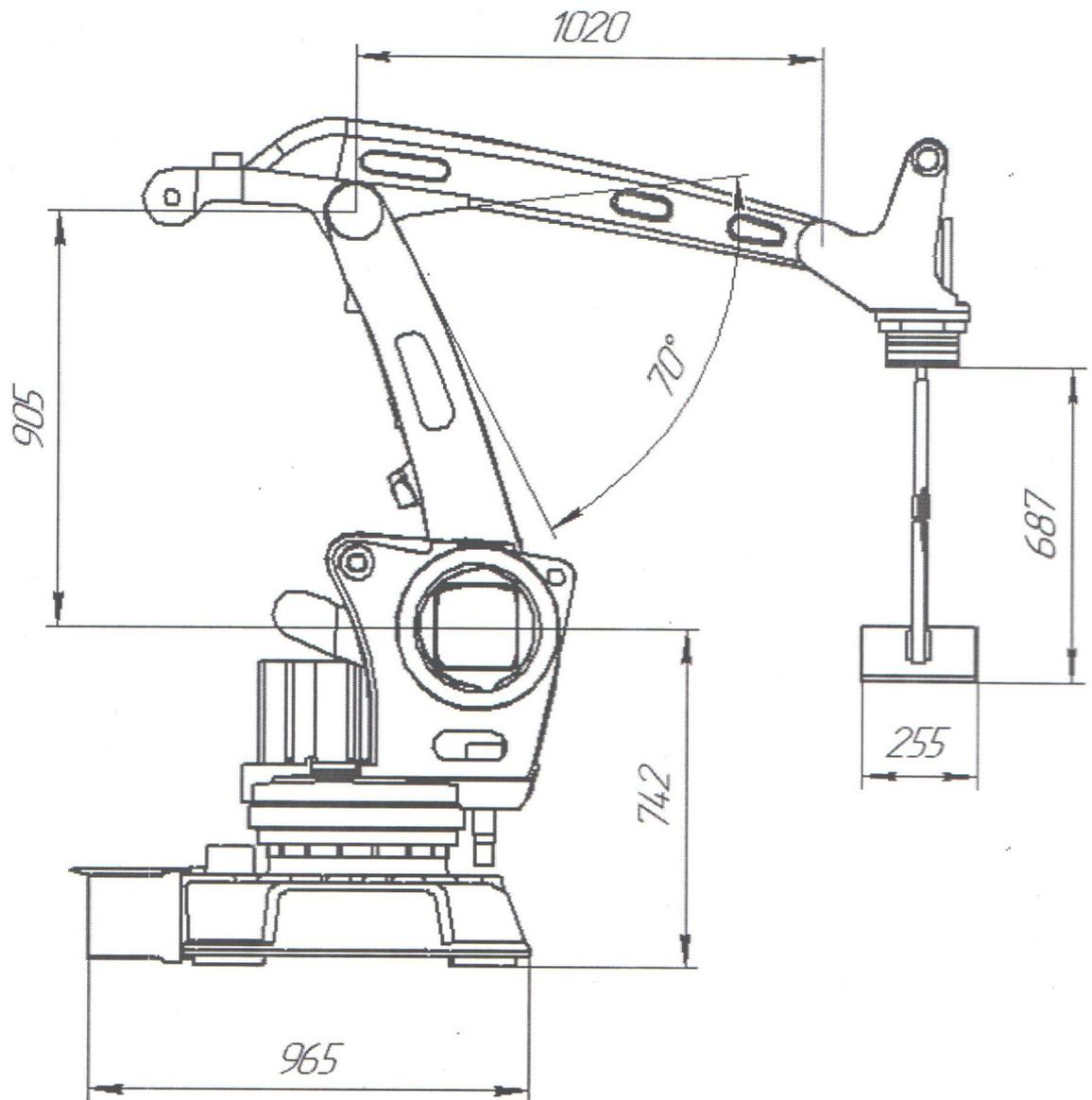
Произошло создание симуляции с помощью программы MSC Adams. Ознакомились с выводами и постобработкой данной программы.

Исходя из всего, что было сказано, можно сделать вывод, что скоро всё производство будет держаться на роботах, будут разрабатываться всё более новые и совершенные модели. Уже сегодня учёные создают человекоподобных роботов, которые обладают феноменальными возможностями. А что касается манипуляторов, то они и дальше будут применяться в сфере машиностроения, ведь это неотъемлемая часть этой индустрии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кулешов В. С., Лакота Н. А., Андрюнин В. В. Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы. – М.: Машиностроение, 1986
- 2 Белянин П. Н. Промышленные роботы и их применение. -М.: Машиностроение, 2012. – 74 с
- 3 Ключев С.А. Компьютерное моделирование: Учебно-методическое пособие. - М.: Волжский политехнический институт, 2009
- 4 Нехаев Д.В. Передовые инструменты виртуального моделирования работы машин и механизмов
- 5 Тумасов А. В., Костин С. Ю., Вашурин П. С. Моделирование машин и механизмов в среде MSC. ADAMS. – Н. Новгород, 2011.
- 6 Ащепкова Н. С. Метод кинематического и динамического анализа манипулятора.
- 7 Крутиков Л. С. Базовые инерционные параметры манипуляционных роботов.
- 8 <https://www.therobotreport.com/yaskawa-motoman-adds-painting-robots/>
- 9 <http://www.robomatic.ru/robots/kuka-germaniya>
- 10 <http://www.eurointech.ru/tools/board-assembly/soldering/UR3.phtml>

ДР 5В071200.19



Перв. примен.	
Справ. №	
Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	

ДР 5В071200.19

Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата
Разраб.		Енсебаев А.С.		
Проб.		Исметова М.Е.		
Т.контр.				
Н.контр.		Карпеков Р.К.		
Утв.		Арымбеков Б.С.		

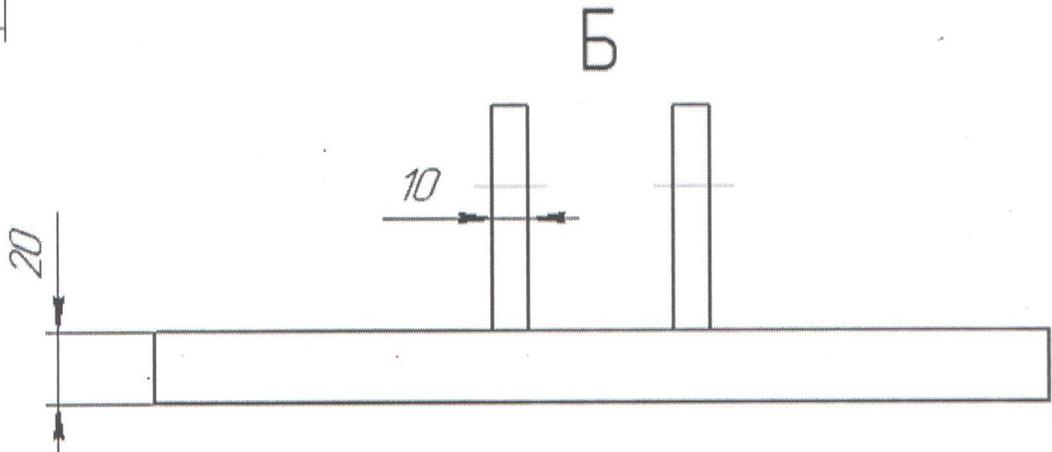
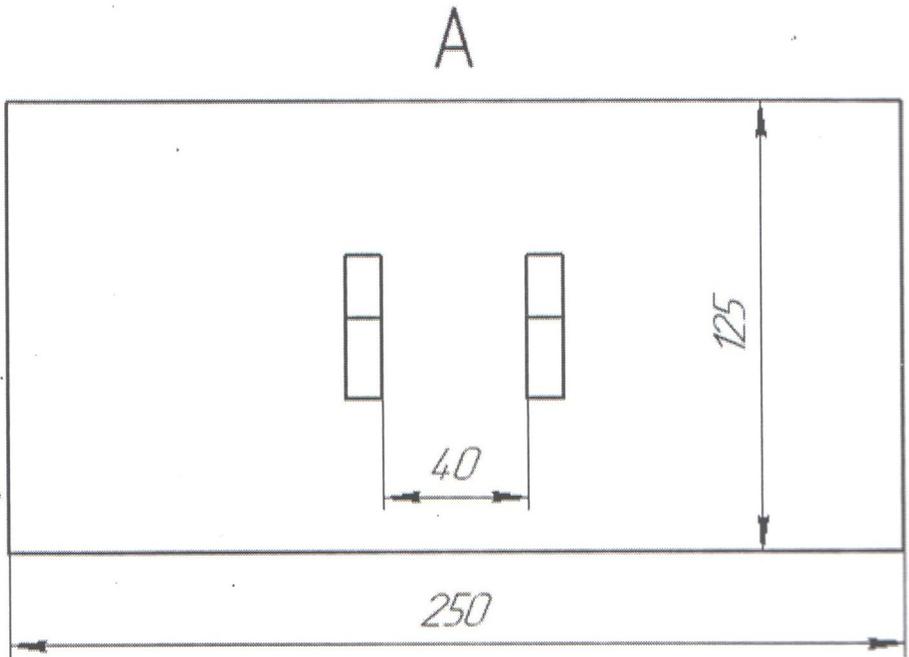
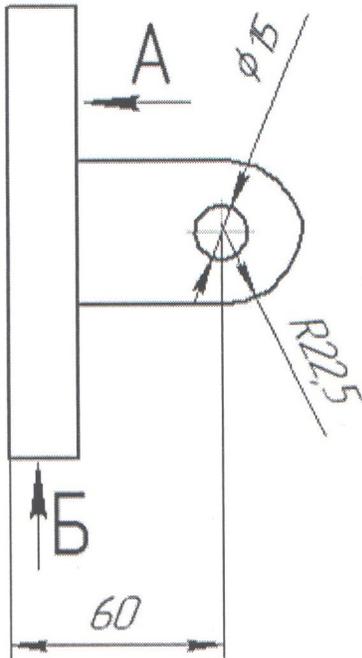
Манипулятор "Рука"

Лит.	Масса	Масштаб
	1660	1:5
Лист	Листов 1	
КазНУТУ им. КИ. Сатпаева		
Кафедра СМиТМП		

ДР 5В071200. 19

Перв. примен.

Справ. №



ДР 5В071200. 19

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Енсебаев А.С.		
Проб.		Исанметова М.Е.		
Т.контр.				
Н.контр.		Карлеков Р.К.		
Утв.		Арынбеков Б.С.		

Схват

Лит.	Масса	Масштаб
У	5,22	1:1
Лист	Листов 1	

Сталь 10 ГОСТ 1050-88

КазНУТУ им. К. И. Сатпаева
Кафедра СМиТМТ