

УДК 658.512.4.01

РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АКСЕЛЕРОМЕТРА НА ОСНОВЕ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Д.т.н. И.Ш. Невлюдов¹, к.т.н. В.В. Евсеев¹, В.О. Бортникова¹, Я.О. Замирец²

1. Харьковский национальный университет радиоэлектроники

2. Государственное предприятие Научно-исследовательский технологический институт приборостроения, г. Харьков

В статье проведен анализ существующих классификаций устройств на основе МЭМС. Предложен новый граф декомпозиции устройств на основе МЭМС для решения задач автоматизации. Разработана параметрическая модель для подгруппы акселерометров.

У статті проведено аналіз існуючих класифікацій пристроїв на основі МЕМС. Запропоновано новий граф декомпозиції пристроїв на основі МЕМС для вирішення завдань автоматизації. Розроблено параметрична модель для підгрупи акселерометрів.

The existing classifications of the MEMS devices are analyzed in the article. The new graph decomposition of the MEMS devices for automation solutions was proposed. A parametric model for a subgroup of accelerometers was developed.

Ключевые слова: МЭМС, параметрическая модель, система автоматизированного проектирования, акселерометры

Введение

На сегодняшний день существует множество определений понятия «микроэлектромеханические системы» (МЭМС), однако в большинстве случаев в узком смысле они понимаются как устройства. Это не совсем точное определение, более широкое и более полное определение понимает под собой МЭМС как технологический процесс, используемый для создания крошечных интегрированных устройств или систем, которые сочетают в себе механические и электрические компоненты. Они изготовлены с использованием интегральной схемы (ИС) методом пакетной обработки и могут варьироваться в размерах от нескольких микрометров до миллиметров. Эти устройства (или системы) имеют способность чувствовать, контролировать и приводить в действие на микро-уровне, а так же генерировать, воздействовать на макро-уровне.

Сегодня существует актуальная задача усовершенствования системы автоматизированного проектирования (САПР) для изготовления МЭМС [1,2].

Анализ существующих САПР МЭМС показал, что такие системы как MEMCAD, Cowentor Ware, Tanner Pro, программного комплекса ANSYS, программный комплекс COMSOL Multiphysics имеют один недостаток, который не позволяет автоматизировать процесс проектирования технологических процессов изготовления и производства.

Анализ современных классов МЭМС

Для решения поставленной задачи проведем декомпозицию устройств на основе МЭМС с точки зрения автоматизации построения технологических процессов. Принято решение представить их в виде таких групп:

- простые устройства (линзы Френеля, решетки, волоконно-оптические соединители, сопла, фильтры и т. д.);
- преобразователи и генераторы (механические, химические, оптические, биологические и др.);
- актюаторы (приводы) или исполнительные механизмы (исполнительные элементы газовых и жидкостных хроматографов, головок записи и считывания, микрооптоэлектромеханические устройства и т. д.).

Однако устройства на основе МЭМС возможно разбить и по другим критериям: по сфере применения, количеству используемых элементов, размерам конструкций, используемых физических явлений, а так же по технологии изготовления [3].

Если устройства на основе МЭМС понимать как обеспечение конвертирования величины различной физической природы, то функции МЭМС можно разбить следующим образом[4]: актюаторы и/или сенсоры, системы излучения (антенны), цепи, используемые для обработки информации от сенсоров, актюаторов, цепи управления.

Если разделять устройства на основе МЭМС с точки зрения функциональных модулей они делятся на: исполнительные механизмы (актюаторы), чувствительные элементы (сенсоров), управляющие механизмы (микрозеркала, микроклапаны, управляемые микроклапаны, мембраны и т. д.), устройства передачи энергии (для передачи энергии), устройства управления (электрические и механические).

Для разработки параметрической модели необходимо разбить устройства на основе МЭМС более детально в соответствии с поставленной задачей:

- простые устройства;
- исполнительные механизмы;
- элементы сопряжения МЭМС конструкций;
- механизмы воздействия;
- преобразователи и генераторы.

К простым устройствам отнесем: линзы Френеля, решетки, волоконно-оптические соединители, сопла, насосы (обеспечивают нагнетательное движение жидкостей и газов по микрополостям) и фильтры (обеспечивают жидкостную и газовую фильтрацию и

абсорбцию веществ в микроаналитических системах). На рисунке 1 представлен фрагмент графа декомпозиции устройств на основе МЭМС устройств.

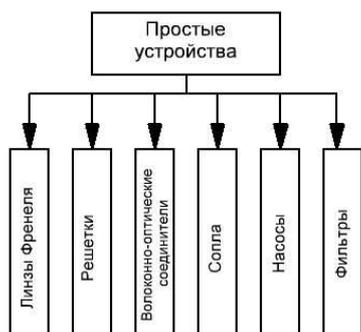


Рис. 1 Фрагмент графа декомпозиции для простых устройств

Исполнительные механизмы можно разделить на несколько подгрупп: термические; электростатические (последовательные контактные переключатели; параллельные емкостные переключатели); переключатели: с низким напряжением работы (консольные переключатели; параллельные переключатели); с ртутным контактом; магнитные; электромагнитные.

Отдельно в группе исполнительных механизмов можно выделить бистабильные микрореле: микрореле с магнитным приводом; электростатические микрореле; термические микрореле; микрореле для контроллеров бесщеточных двигателей постоянного тока; поликремневые микрореле; микрореле с ртутными контактами; кремневые микрореле. На рисунке 2 представлен фрагмент графа декомпозиции для исполнительных механизмов.

Элементами сопряжения МЭМС конструкций являются: шестеренки; рычаги и кронштейны; реверсные механизмы; замочные механизмы. На рисунке 3 представлен фрагмент графа декомпозиции для элементов сопряжения.

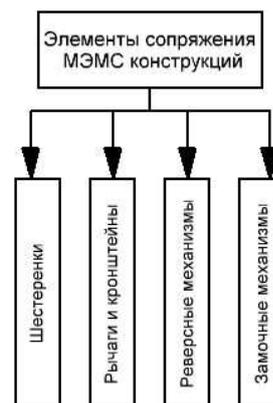


Рис. 3 Фрагмент графа декомпозиции для элементов сопряжения

В группе механизмов воздействия определим такие подгруппы:

- актюаторы (термические, электростатические, электромагнитные, вибрационные, термоэлектрические, пьезоэлектрические, осмические, гидравлические, пневматические);
- моторы или двигатели;
- датчики (давления, температуры, глюкозы, ДНК фактора, силы, электротехнического импульса, детектор газа, химических ионов);
- сенсоры (механические, лазерно-оптические, термические, радиационные, магниторезистивные, химические, биохимические, иммунологические, геномные). В сенсорах можно выделить отдельную подгруппу: чувствительные элементы (ЧЭ) сенсоров можно классифицировать: емкостные; пьезорезистивные; пьезоэлектрические; резонансные; ЧЭ на поверхностных акустических волнах (ПАВ). На рисунке 4 представлен фрагмент графа декомпозиции для механизмов воздействия.

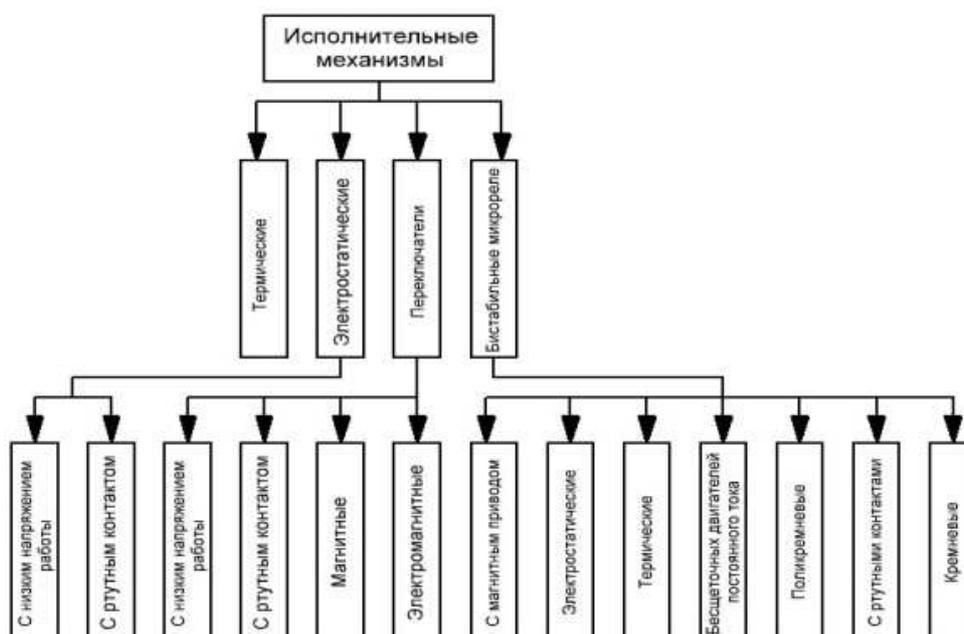


Рис. 2 Фрагмент графа декомпозиции для исполнительных механизмов

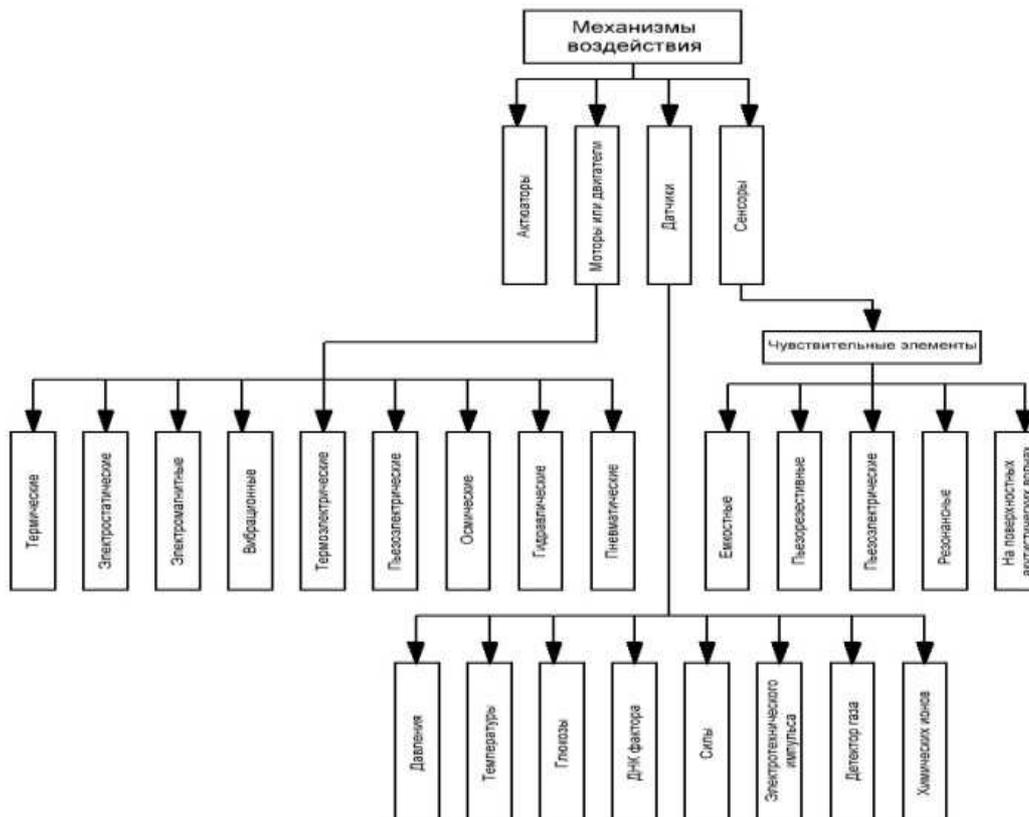


Рис. 4 Фрагмент графа декомпозиции для механизмов воздействия

Преобразователи и генераторы: света в электричество; электричества в свет; температурной разницы в электричество; электричества в высокочастотный звук. В электромеханических преобразователях выделяют такие: электростационарные, механические фильтры и их аналоги (основы), электромагнитные, магнитостационарные, электро-термические, пьезоэлектрические, электростатические, электродинамические.

На рисунке 5 представлен фрагмент графа декомпозиции для преобразователей и генераторов.

Однако, в ходе проведенного исследования, показало, что 80 % применяемых устройств на основе МЭМС является группа датчиков или сенсоров. Они получили применение, в широкой области начиная от бытовой техники и заканчивая космическими аппаратами. Для решения задачи автоматизации группы датчиков или сенсорных устройств необходимо разработать граф декомпозиции сенсорных элементов на основе МЭМС.

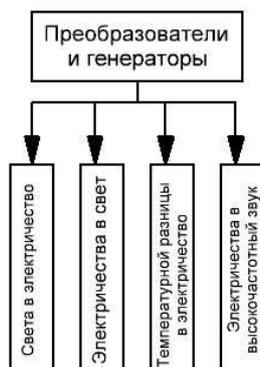


Рис. 5 Фрагмент графа декомпозиции для преобразователей и генераторов

Разработка графа сенсорных элементов на основе МЭМС

В качестве сенсорных элементов используются:

- элементы ИС (резисторы, конденсаторы, диоды и транзисторы);
- микромеханические структуры (мембраны, балки).

В настоящее время классификация сенсоров проводится по различным признакам [7]:

- по технологии изготовления: гибридно-пленочные, твердотельные биполярные или МДП-структуры и т.д.;
- по выходному электрическому сигналу: емкостные, резистивные, индуктивные и т.д.;
- по измеряемому параметру: сенсоры температуры, давления, магнитного поля и т.д.

Если разбить сенсорные элементы с точки зрения формирования сигнала, то можно выделить такие типы:

- активные элементы (тензодатчики, акселерометры, сенсоры магнитного поля и т.д.);
- пассивные элементы (термоэлементы, фотодиоды).

Вследствие чего можно сделать вывод о том, что существует множество методов разбиения устройств на основе МЭМС по различным признакам. В рамках данного исследования выделим группу активных элементов. Параметрическая модель для активных элементов в подгруппе акселерометров позволит в дальнейшем охватить весь класс датчиков.

По конструктивному исполнению акселерометры подразделяются на: однокомпонентные, двухкомпонентные, трёхкомпонентные.

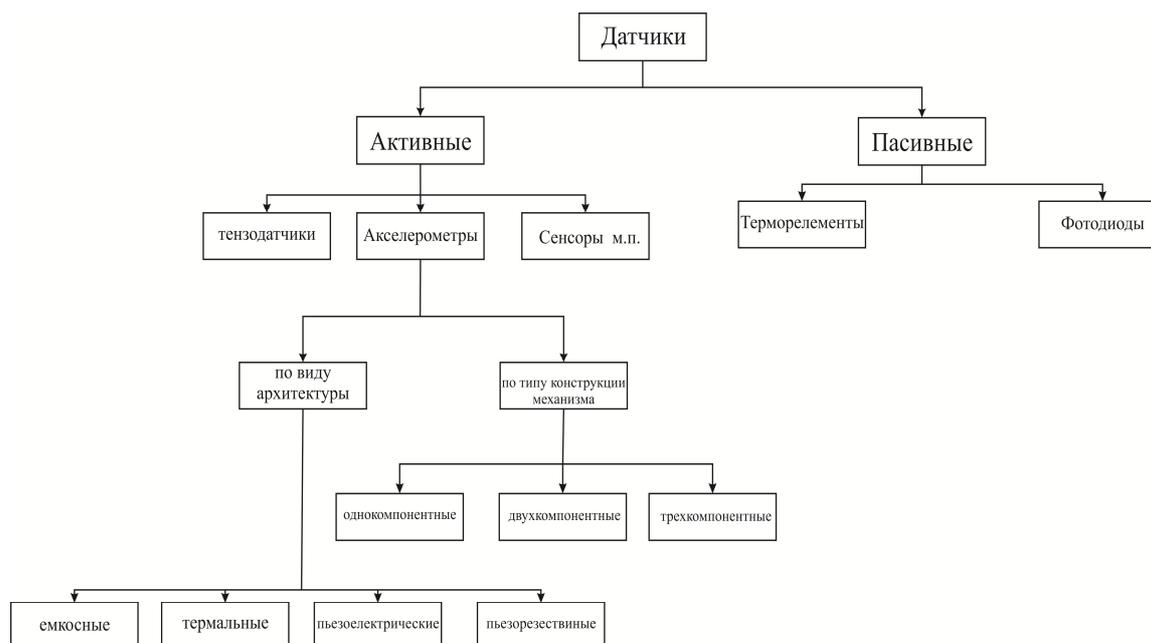


Рис. 6 Структура декомпозиции датчиков на основе МЭМС

Существует несколько основных видов устройств акселерометров в зависимости от их архитектуры:

- емкостной (на конденсаторном принципе);
- пьезоэлектрический;
- пьезорезистивный;
- термальный.

Таким образом, предложим следующую структуру декомпозиции датчиков на основе МЭМС в соответствии с предложенными параметрами. Структура представлена на рисунке 6.

На базе разработанного графа декомпозиции датчиков на основе МЭМС представим его в виде параметрической модели с точки зрения формирования сигнала.

Модель имеет вид:

$$DT = \langle DTa, DTp \rangle, \quad (1)$$

где DTa – активные элементы;
 DTp – пассивные элементы.

Параметрическая модель для пассивных элементов имеет вид:

$$DTp = \langle Tel, Fd \rangle, \quad (2)$$

где Tel – термоэлементы;
 Fd – фотодиоды.

Параметрическая модель для активных элементов имеет вид:

$$DTa = \langle TZ, AK, Sen \rangle, \quad (3)$$

где TZ – тензодатчики;
 AK – акселерометры;
 Sen – сенсоры.

Параметрическую модель для акселерометров представлена в виде набора таких параметров:

$$AK = \langle Arch, Kmex \rangle, \quad (4)$$

где $Arch$ – акселерометры с точки зрения вида архитектуры;

$Kmex$ – акселерометры с точки зрения конструкции механизма.

Параметрическая модель акселерометров с точки зрения вида архитектуры имеет следующий вид:

$$Arch = \langle emk, term, pezel, pezer \rangle, \quad (5)$$

где emk – емкостные акселерометры;

$term$ – термальные акселерометры;

$pezel$ – пьезоэлектрические;

$pezer$ – пьезорезистивные акселерометры.

Выводы

В ходе проведенных исследований предложен граф декомпозиции устройств на основе МЭМС с точки зрения автоматизации проектирования. Граф разбит на основные группы. На базе данного графа разработана параметрическая модель, описывающая группу активных элементов устройств на основе МЭМС, в укрупненном виде подгруппы акселерометров. Предложенная параметрическая модель является основой для математической модели, которая даст возможность разработать модуль автоматизированного проектирования устройств на основе МЭМС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Невлюдов И.Ш., Бортникова В.О. Актуальность разработки систем автоматизированного проектирования МЭМС устройств/ И.Ш. Невлюдов, В.О. Бортникова// Экономика, наука, производство: Сборник научных трудов

- №26. – М.: Издательство «Московский государственный открытый университет В.С. Черномырдина», 2013. – 192 с.
2. Невлюдов И.Ш., Евсеев В.В., Бортникова В.О., Анализ современных средств автоматизированного проектирования микроэлектромеханических систем / И.Ш. Невлюдов, В.В. Евсеев, В.О. Бортникова// «Технология приборостроения» научно-техническом журнал «ГП НИТИП» №1, 2014. – X.: 2014. – 47 с.
3. Шурыгина В. Долгожданное МЭМС. Технология малых форм. // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 4/2002. – С.8–13.
4. Зинченко Л.А. Конспект лекций по блоку дисциплин «САПР НАНОСИСТЕМ». УМК «Автоматизированное проектирование МЭМС и НЭМС»: Библиотека Наноинженериш. – М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2008. – 30 с.: ил.
5. Фрайден Дж. Современные датчики: Справочник: Пер. с англ. / Пер. Заболотная Ю.А.; Ред. пер. Свинцов Е.Л. – М.: Техносфера, 2006. – 588 с.
6. Бортникова В.О. Основные особенности автоматизации проектирования устройств на основе МЭМС/ В.О. Бортникова//18-й Международный молодежный форум

- «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке». Сб. материалов форума.Т.1. – Харьков: ХНУРЭ.2014. – 216 с.
7. Распопов В.Я. Микроэлектронические приборы [Текст] / В.Я. Распопов. – М.: ИТ Пресс, 2007. – 400 с.
8. Невлюдов, И. Ш. Микроэлектромеханические системы и нанотехнологии / Невлюдов И. Ш., Андрусевич А. А., Палагин В. А.; МОН Украины. - X. : Коллегиум - 2008. - 264 с.
9. Семенец В.В. Введення в мікросистемну техніку та нанотехнології [Текст]: учеб. / В.В. Семенец, І.Ш. Невлюдов, В. А. Палагін. - X. : Компанія СМІТ, 2011.- 416 с. – ISBN 978-966-2028-73-7
10. Теслюк В.М., Денисюк П.Ю. Автоматизація проектування мікроелектромеханічних систем на компонентному рівні [Текст] / В.М. Теслюк, П.Ю. Денисюк. 2011. - 192 с.
11. МикроЭлектроМеханические системы [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www.nanometer.ru/2010/09/30/mems_218368.html
12. Новые датчики ускорения (акселерометры) компании STMicroelectronics [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://kit-e.ru/articles/elcomp/2005_6_44.php

УДК 629.735

ФОРМИРОВАНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ОСНОВНЫХ КОМАНД ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Д.т.н. И.Ш. Невлюдов, к.т.н. С.С. Милютин, А.А. Функендорф, Н.П. Демская, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

В статье приведен аналитический обзор экспериментальных исследований по определению ограничений выполнения основных команд промышленного робота. Для этого использован промышленный шестизвездный антропоморфный робот РМ-01, имеющий следующие возможности поворотов звеньев: первое звено от -160° до $+160^\circ$, второе – от -255° до $+45^\circ$, третье – от -45° до 225° , четвертое – от -110° до $+170^\circ$, пятое – от -100° до $+100^\circ$, шестое – от -266° до $+266^\circ$. Установлено, что, несмотря на наличие «мёртвых» зон в работе каждого звена, их можно перекрыть возможностями поворота других звеньев. Предложено программное обеспечение, позволяющее рассчитывать возможные углы поворота звеньев из текущего положения.

У статті наведено аналітичний огляд експериментальних досліджень з визначення обмежень виконання основних команд промислового робота. Для цього використаний промисловий антропоморфний робот РМ-01 з шістьма ланками, який має такі можливості поворотів ланок: перша ланка від -160° до $+160^\circ$, друга – від -255° до $+45^\circ$, третя – від -45° до 225° , четверта – від -110° до $+170^\circ$, п'ята – від -100° до $+100^\circ$, шоста – від -266° до $+266^\circ$. Встановлено, що, незважаючи на наявність «мертвих» зон в роботі кожної ланки, їх можна перекрити можливостями повороту інших ланок. Запропоновано програмне забезпечення, що дозволяє розраховувати можливі кути повороту ланок з поточного становища.

The article provides an analytical review of experimental studies to determine the performance of the basic limitations of the industrial robot teams. To do this, use the industrial six-membered anthropomorphic robot RM-01, having the following features turns links: the first link from -160° to $+160^\circ$, the second – from -255° to $+45^\circ$, the third – from -45° to 225° , the fourth – from -110° to $+170^\circ$,

the fifth – from -100° to $+100^\circ$, the sixth – from -266° to $+266^\circ$. Found that, despite the presence of "dead zones" in the work of each link, they can block pivotally other units. Proposed software that allows you to calculate possible angles links from the current position.

Ключевые слова: манипулятор, промышленный робот, ограничения, звено, степень свободы.

Введение

Современный уровень развития производства предполагает повышение его гибкости. Для достижения этого используются различные методы, одним из которых является применение промышленных роботов, выбор которых определяется соответствием их технических характеристик требованиям и целям производства. Однако, в силу конструктивных особенностей перемещения и углы вращения звеньев манипуляторов имеют собственные ограничения.

Использование промышленных роботов в производстве требует разработки программ управления, которые обеспечат выполнение необходимых технологических переходов и операций.

При разработке и отладке программы управления роботом возможны ситуации, когда команды управления зададут такое перемещение, которое приведёт к попаданию манипулятора в «мёртвые зоны», обусловленные ограничениями, связанными с тем, что у каждого звена есть своя степень подвижности, угол его поворота или расстояние перемещения, что значительно затрудняет расчет движения манипулятора. Некорректный ввод таких параметров вызвать следующие ситуации: невыполнение команды или программы в целом, некорректное выполнение команды,