Указания к выполнению задания 1

Количество свобод движения манипулятора определяется по формуле Сомова-Малышева:

, (1)

где *n* – количество подвижных звеньев пространственной кинематической цепи,

*p*5, *p*4, *p*3, *p*2, *p*1 – количество кинематических пар пятого (одноподвиж-ных), четвертого (двухподвижных), третьего (трехподвижных), второго (че-тырехподвижных) и первого (пятиподвижных) классов.

Для работы с объектами, произвольно ориентированными в пространст-ве, манипулятору достаточно шести свобод движения. С целью упрощения управления в отдельных случаях удобно применять раздельное управление каждым движением (приводом). Однако при работе с предметами, образую-щими кинематическую связь с неподвижным объектом, шести свобод движе-ния при раздельном управлении может оказаться недостаточно (например: болт *К* требуется вставить в отверстие и завернуть его (*рис. 1.1*)).

В таких случаях для выполнения заданной ориентации предмета и вы-полнения операции необходимо использовать сложную комбинацию из шес-ти движений или оснастить манипулятор дополнительными подвижными звеньями с приводом (дополнительное вращение – ротацию, звенья перемен-ной длины и т. д. (*рис. 1.2*)). Эти приводы будут включаться только в случае необходимости, в связи с чем введем понятие *маневренности* манипулятора.

*Маневренность* манипулятора определяется таким количеством свобод движения, которое дает возможность манипулировать звеньями при жестком соединении губок схвата с неподвижным предметом.

Различают *пространственную* (общую) *m* и *базовую* *m*б маневренность, которые могут быть определены по формулам:, предложенным проф. Озолом

, (2)

, (3)

4

где Σ *fкп* – сумма свобод движения всех кинематических пар, обеспечиваю-щих пространственную ориентацию схвата (общее число степеней свобод *W*);

 Σ *fб* – сумма свобод движения кинематических пар, обеспечивающих движение звеньев в базовой плоскости (например, в плоскости YOX) при не-подвижном схвате.

 

*Е*

 Y О1 X

 *Д* Z

 *К* *А*

 *С* *А*1

 *В*

 *Е*

 *В*

 O1 *А* X *В*1

 *С*

 Z Y

 Рис. 1.1 Схема пространственной Рис. 1.2. Манипулятор

кинематической цепи манипулятора с дополнительными подвижными

 звеньями

Если *m* > 0 и *m*б > 0, причем *m* = *m*б – манипулятор обладает маневренно-стью только в базовой плоскости и способен на произвольную ориентацию схвата в пространстве в пределах конструктивных параметров схемы.

Если *m* > 0 и *m*б > 0, причем *m* < *m*б – манипулятор обладает маневренно-стью в базовой плоскости, но он имеет ограниченную общую маневренность и не способен обеспечить ряд положений схвата в пространстве. В этом слу-чае необходимо изменить ориентацию носителя – основания манипулятора (подвижного и неподвижного).

Если *m* > 0 и *m*б > 0, причем *m* > *m*б – манипулятор обладает маневренно-стью как в базовой плоскости, так и в пространстве.

В случае, если *m* ≤ 0 и *m*б ≤ 0 – манипулятор способен выполнить ограни-ченные перемещения как в плоскости, так и в пространстве, но не способен работать с объектами, кинематически связанными с неподвижной базой, так как схема манипулятора в этом случае теряет всякую подвижность и превра-щается в жесткую ферму.

5

Пример 1. На *рис.1.1* приведена кинематическая схема манипулятора, состоящая из шести подвижных звеньев, образующих пять кинематических пар пятого класса (три вращательные – О1, *С*, *Д* и две поступательные – *А* и *Е*) и одну сферическую трехподвижную пару *В*.

1. Для рассматриваемой схемы имеем *n* = 6, *p*5 = 5 и *p*3= 1. В этом случае количество свобод движения манипулятора составит

*W* = 6·6 – 5·5 – 3·1 = 8.

2. Маневренность манипулятора в пространстве при неподвижном схва-те (количество подвижных звеньев примем равным *n* – 1)

 = (6·6 – 5·5 – 3·1) – 6 = 2.

3. Маневренность манипулятора в базовой плоскости (например, в плос-кости YOX) при неподвижном схвате будет обеспечиваться подвижностью кинематических пар *А*, *Д*, *Е* и одним из трех вращений сферической пары *В*.

 = 4 – 3 = 1.

4. Исследование структуры манипулятора дает основание сделать вывод о том, что при *m* = 2 и *m*б = 1 манипулятор обладает маневренностью в прост-ранстве и способен работать при неподвижном схвате.

Пример 2. Для трехзвенной цепи манипулятора, приведенной на рис. 2, звенья которого соединены парами третьего (О1), четвертого (*А*) и пятого (*В*) классов, выполним следующие вычисления

*W* = 6·3 – 5·1 – 4·1 – 3·1 = 6,

*m* = 6·3 – 5·1 – 4·1 – 3·1 – 6 = 0,

*mб* = 3 – 3 = 0.

Таким образом, данный манипулятор способен ориентировать схват *С* в рабочем объеме, но не способен работать с предметами, кинематически свя-занными с неподвижными объектами.

Введение в цепь звена *А*1*В*1 переменной длины (дополнительная кинема-тическая пара *Е* – телескопический разьем со своим приводом) дает возмож-ность повысить маневренность манипулятора, выполнять более сложные дви-жения в ограниченном рабочем объеме, уменьшить энергозатраты при пере-мещении объекта из одной точки в другую при наличии препятствий в зоне обслуживания.

В этом случае *W* = 6·4 – 5·2 – 4·1 – 3·1 = 7,

*m* = 6·4 – 5·2 – 4·1 – 3·1 – 6 = 1,

*mб* = 4 – 3 = 1.

Указания к выполнению задания 2

При определении неизвестных чисел зубьев в зубчатом механизме необ-ходимо учесть условие соосности дифференциальной части механизма, а так-же то, что модули всех колес для упрощения расчетов приняты одинаковыми.

Решение задачи по определению кинематических параметров сложного зубчатого механизма следует начать с выяснения структуры этого механизма. В нем необходимо выделить дифференциальную часть и зубчатые ряды, а за-тем составить выражения для передаточных отношений каждой из этих выде-ленных частей.

На *рис. 1.3* представлена схема зубчатого механизма. Этот механизм можно отнести к плоским механизмам и определить его степень подвижнос-ти относительно стойки по формуле Чебышева

, (4)

где *n* – количество подвижных звеньев плоской кинематической цепи;

 *p*5 – количество кинематических пар пятого класса (одноподвижных);

 *p*4 – количество кинематических пар четвертого класса (двухподвижных).

Физический смысл числа, полученного из выражения (4), напомним, здесь трактуется как количество одновременно входных звеньев зубчатого механизма.

 Разделительные линии



 *z*5 *z*8  Выход

 *z*6 *z*7 *z*10

 Вход

 *z*1  *Н*

 *z*4  *z*9

 *z*2  *z*3

 *U*I = *U*1-4  *U*II = *UH*-8  *U*III = *U*9-10

Рис. 1.3. Открытый сложный зубчатый механизм.

Для расчетной схемы

*n* = 6; *p*5 = 6; *p*4 = 5; *W* = 3·6 – 2·6 – 1·5 = 1.

7

Весь механизм состоит из двух простых зубчатых рядов и дифференци-альной части. Первый зубчатый ряд включает зубчатые колеса *1* – *4*. Диффе-ренциальный ряд состоит из зубчатых колес *5* – *8* и водила *Н*. Второй зубча-тый ряд состоит из колес *9* – *10*.

Разделение механизма на отдельные его части на *рис. 1.3* показано вер-тикальными линиями, проводимыми по неподвижным опорам – стойкам. Та-ким образом, весь механизм можно представить в виде трех его фрагментов, имеющих свои передаточные отношения

 *n*1

*U*вход – выход = *U*1-10 = *U*I *U*II *U*III = *U*1-4 *UH*-8 *U*9-10 = –—. (5)

 *n*10

Передаточное отношение первой части – зубчатого ряда – определяется отношением чисел зубьев колес, входящих в этот ряд

 *z*2  *z*4 *n*1

*U*1-4  = (–1)*q* –—–— = –—,

 *z*1 *z*3  *n*4

где *q* – число *внешних* зацеплений в данном зубчатом ряду,

*n*1 и *n*4 – частоты вращения шестерен *1* и *4*, с–1.

Множитель (–1)*q* в зубчатых механизмах с параллельными осями враще-ния звеньев определяет знак передаточного отношения. Если *q* – четное чис-ло или 0 – передаточное отношение положительно, следовательно, входное (звено *1*) и выходное (звено *4*) звенья данного участка кинематической цепи вращаются в одну и ту же сторону. Если *q* – нечетное число – передаточное отношение отрицательно, следовательно, входное и выходное звенья данного участка кинематической цепи будут вращаться в разные стороны.

Для определения передаточного отношения второй части – дифференци-ального ряда следует при остановленном водиле (метод Виллиса) составить выражение передаточного отношения от крайнего левого до крайнего право-го зубчатых колес дифференциала

 *z*6 *z*8  *n*5 – *nH* 0 – *nH*

*U*5-8*Н* = (–1) 0 ––— = –—–—– = –—–—–. (6)

 *z*5 *z*7  *n*8 – *n*H  *n*8 – *nH*

Разделив числитель и знаменатель правой части выражения (6) на *n*8, по-лучим

 – *nH* / *n*8  *nH*

*U*5-8*Н* = –—–——, здесь —— = *UH*-8.

 1 – *nH* / *n*8 *n*8

Теперь после преобразований имеем

8

 *U*5-8*Н*

*UH*-8 = –—–—–.

 *U*5-8*Н* – 1

Передаточное отношение третьей части – зубчатого ряда – определяется отношением чисел зубьев колес *9* и *10*, входящих в этот ряд

 *z*10 *n*9

*U*9-10 = (–1) 1 –— = –—.

 *z*9 *n*10

При определении числа оборотов сателлита (шестерен *6* и *7*), следует в дифференциальном ряду исключить все колеса до сателлита (с любой его стороны), т. е. сделать сателлит конечным колесом дифференциала.

 *z*5

 *z*6  *z*7

 *Н*



Рис. 1.4. К определению числа оборотов сателлита

Для схемы, представленной на *рис. 1.4*, передаточное отношение *U*5-6 при остановленном водиле запишем в виде

 *z*6  *n*5 – *nH* 0 – *nH*

*U*5-6Н = (–1) 0 –— = –—–—— = –—–—–. (7)

 *z*5  *n*6 – *n*H  *n*6 – *nH*

Здесь численное значение *nH* определяется из выражений

 *n*1 *n*1

*nH* *=* *n*4, *U*1-4  = –—, *n*4 = –—

 *n*4 *U*1-4

и при определении *n*6 полученное *nН* подставляется в формулу (7).

9

Рассмотрим пример кинематического расчета замкнутого дифференци-ального зубчатого механизма.

Схема этого механизма представлена на *рис. 1.5*. Здесь нам заданы числа зубьев колес *1* – *2* и *4* – *6*. Определению подлежит величина передаточного отношения от входного вала к корпусу барабана *U*1-3  и количество зубьев, нарезанных на торцевой части перегородки корпуса барабана (*z*3).

Данный механизм, как уже отмечалось, представляет собой замкнутый дифференциальный редуктор грузоподъемного устройства. Зубчатые колеса *1* – *3* и водило *Н* представляют собой дифференциальную часть, а колеса *4* – *6* – простой зубчатый ряд.

Степень подвижности этого механизма относительно стойки определим из выражения

*W* = 3·5 – 2·5 – 1·4 = 1.

Неизвестное число зубьев колеса *3* определим из условия соосности диф-ференциальной части, т. е.

*R*3 = *R*1 + 2*R*2,

где *R*1, 2, 3 – радиусы делительных окружностей колес *1* – *3*.

Эти радиусы далее следует заменить соотношением

 *m z*

*R* = –—,

 2

где *m* – модуль зубчатого зацепления;

 *z –* число зубьев колеса.

При равенстве модулей всех колес конечный результат представим в виде

*z*3 = *z*1 *+* 2 *z*2.

 *z*3  *z*6

 *z*2  *z*5

 *Н*

 *z*1 *z*4

 Соосность



Рис. 1.5. Замкнутый сложный зубчатый механизм

10

Передаточное отношение дифференциальной части определяется выра-жением

 *z*3  *n*1 – *nH*

*U*1-3*Н* = (–1) 1 –— = –—–—–. (8)

 *z*1  *n*3 – *nH*

Здесь

*n*3 = *n*6, *nH* = *n*4.

Искомое соотношение *U*1-3 можно записать в виде

 *n*1

*U*1-3 = –—.

 *n*3

Разделив правую часть равенства (8) на *n*3, получим

  *z*3 *n*1 / *n*3 – *nH* / *n*3  *U*1-3 – *U*4-6

*U*1-3*Н* = – –— = –—–—––—–— = –—–—––—. (9)

 *z*1 1 – *nH* / *n*3 1 – *U*4-6

Неизвестная на данный момент величина *U*4-6 – передаточное отношение зубчатого ряда – определяется из выражения

 *z*5 *z*6  *z*6

*U*4-6 = (–1) 1 ––— = – ––

 *z*4  *z*5  *z*4

и затем подставляется в (9). Полученное уравнение решается относительно одного оставшегося неизвестного – *U*1-3 .

Здесь

*U*1-3 = *U*1-3*Н* (1 – *U*4-6) + *U*4-6.

Далее представлены варианты заданий для выполнения контрольной ра-боты.

*Пример выбора исходных данных (см. Приложение 1).*

Шифр студента заканчивается цифрами **03**.

В этом случае следует брать:

* вариант схемы манипулятора – 3 (Вариант 3 на стр.13 – задача 1);
* вариант схемы планетарного зубчатого механизма – 3 (Вариант 3 на стр. 15 – задача 2);
* вариант числовых значений исходных данных для решения задачи по ки-нематическому анализу зубчатых механизмов – 10 (для задания 3, табл. 1.1 на стр. 17).

Вариант 5

**Задача 1.** Для заданной кинематической цепи манипулятора (*рис. 1.6*, вариант 5) определить количество свобод движения, пространственную (об-щую) и базовую маневренность, на основании которых сделать выводы о ра-ботоспособности предлагаемой схемы и, если это необходимо, предложить способы ее усовершенствования.

**Задача 2.** В планетарном зубчатом механизме (*рис. 1.7*, вариант 5) опре-делить неизвестные кинематические параметры в соответствии с исходными данными, представленными в табл. 1.1.

СХЕМА МАНИПУЛЯТОРА 5



ВАРИАНТЫ ДАННЫХ 4 !!!

*Т а б л и ц а 1.1. Исходные данные для решения задачи по кинематике*

*зубчатых механизмов*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант задания | Вариант числовых значений | Частота вращения *n*1, с–1 | Числа зубьев колес |
| *z*1 | *z*2 | *z*3 | *z*4 | *z*5 | *z*6 | *z*7 | *z*8 | *z*9 | *z*10 |
| 1 | 12345678910 | 811964781057 | 50403538351819212324 | 60605057452427294239 | 40454045503220233131 | 60504550753632272529 | 40404025351821192226 | ?????????? | 35403530252118242123 | 50454045403238354334 | –––––––––– | –––––––––– |
| В варианте 1 определить: *W*, неизвестное число зубьев, *u*1-8, *nH*, *n*4, *n*8. |
| 2 | 12345678910 | 1114109854121713 | 40454045501921222420 | 60504550753127343728 | 50403538352424213218 | 60605057452736334137 | 10090120140120959710294106 | 40454035402526222426 | ?????????? | 110100140155125100909893104 | –––––––––– | –––––––––– |
| В варианте 2 определить: *W*, неизвестное число зубьев, *u*1-8, *nH*, *n*6, *n*8. |
| 3 | 12345678910 | 1415911128111376 | 19221824273540204530 | 24292731345060453555 | ?????????? | 6469688288125135100120115 | 21232519253035404550 | 9768714472120105140120120 | 23242225273235384245 | 34293133404850574955 | –––––––––– | –––––––––– |

*Продолжение табл. 1.1*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант задания | Вариант числовых значений | Частота вращения *n*1, с–1 | Числа зубьев колес |
| *z*1 | *z*2 | *z*3 | *z*4 | *z*5 | *z*6 | *z*7 | *z*8 | *z*9 | *z*10 |
| В варианте 3 определить: *W*, неизвестное число зубьев, *u*1-8, *nH*, *n*3, *n*8. |
| 4 | 12345678910 | 79111013121716119 | 30204030351922242718 | ?????????? | 1101101401201157378889970 | 50403538352321252421 | 60605057454934293229 | 40454045502626212724 | 60504550753441383531 | 45474240503123253124 | 49534846625238363938 | –––––––––– |
| В варианте 4 определить: *W*, неизвестное число зубьев, *u*1-9, *nH*, *n*2, *n*9. |
| 5 | 12345678910 | 675911121391415 | ?????????? | 24272932373035354045 | 67758182988590104110130 | 22201918223032403525 | 32232525255045484239 | 836463657112011212610998 | 23272124263236384245 | 36353629314845574950 | –––––––––– | –––––––––– |
| В варианте 5 определить: *W*, неизвестное число зубьев, *u*1-8, *nH*, *n*2, *n*8. |
| 6 | 12345678910 | 111298781112910 | 18192124183236384245 | 24312729264845574950 | 7274827376120125120115110 | 19212322183025403530 | ?????????? | 29283227325060505045 | 21192225202535405055 | 24232729274045504540 | 6663728171135135140145150 | –––––––––– |
| В варианте 6 определить: *W*, неизвестное число зубьев, *u*1-9, *nH*, *n*4, *n*9. |

*Продолжение табл. 1.1*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант задания | Вариант числовых значений | Частота вращения *n*1, с–1 | Числа зубьев колес |
| *z*1 | *z*2 | *z*3 | *z*4 | *z*5 | *z*6 | *z*7 | *z*8 | *z*9 | *z*10 |
| 7 | 12345678910 | 1112137141213985 | 21222419253242374351 | 27322927334149635462 | 7388758190115125130125115 | 21241922253535253025 | 24292527283236423840 | ?????????? | 21231923183236384240 | 25272634294237323036 | 32343439376060504963 | –––––––––– |
| В варианте 7 определить: *W*, неизвестное число зубьев, *u*1-9, *nH*, *n*5, *n*9. |
| 8 | 12345678910 | 791112131512161417 | 19202122232040353835 | 25272824333255505745 | ?????????? | 27312831324050455035 | 21182019183440314219 | 24333037353655545340 | 23242124253236455463 | 725865726981789496102 | –––––––––– | –––––––––– |
| В варианте 8 определить: *W*, неизвестное число зубьев, *u*1-8, *nH*, *n*5, *n*8. |
| 9 | 12345678910 | 1114125789578 | 25302735321819212224 | 40403640402623252629 | 25222830321718212223 | ?????????? | 75727890925762717681 | 30253240302122232423 | 40354050442427292732 | 30252840251921202221 | 42404252292625272826 | 46445056363936313229 |
| В варианте 9 определить: *W*, неизвестное число зубьев, *u*1-10, *nH*, *n*4, *n*10. |

20

*Окончание табл. 1.1*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант задания | Вариант числовых значений | Частота вращения *n*1, с–1 | Числа зубьев колес |
| *z*1 | *z*2 | *z*3 | *z*4 | *z*5 | *z*6 | *z*7 | *z*8 | *z*9 | *z*10 |
| 10 | 12345678910 | 911754118121314 | 65736670584356706471 | 20302320302118242123 | 35324038422023171923 | ?????????? | 30403540442220192318 | 55406555462230313032 | 25222830321719182219 | 60507560605023222827 | 17017518018018013063607871 | –––––––––– |
| В варианте 10 определить: *W*, неизвестное число зубьев, *u*1-9, *nH*, *n*5, *n*9. |