МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ

УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

(национальный исследовательский университет)»

**Проектирование кулисного механизма**

**шасси самолёта**

САМАРА 2014

УДК 629.7.027 (075)

Составители: А.В. Суслин, Т.А. Хибник

**Проектирование кулисного механизма шасси самолета:** метод.указания к курсовому проектированию / сост. А.В. Суслин, Т.А. Хибник. – Самара: Изд-во СГАУ, 2014 – 51 с.

Методические указания содержат требования к проектированию кулисного механизма шасси самолета, определение его кинематических характеристик.

Предназначены для студентов инженерно-технических специальностей вуза при изучении курса «Теория механизмов и машин»

Рис. 22; Библ. 5

Печатается по решению редакционного совета Самарского Государственного Аэрокосмического Университета.

Рецензент: к.т.н., доц. В.П. Показеев

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | |  | стр |
| Принятые обозначения | | |  |
| Введение | | |  |
| Задания | | |  |
| 1 | Структурный анализ механизма уборки и выпуска стойки шасси | |  |
| 1.1 | Определение степени подвижности механизма | |  |
| 1.2 | Структурные группы Ассура | |  |
| 1.3 | Формула строения и класс механизма | |  |
| 2 | Кинематический анализ механизма | |  |
| 2.1 | Определение закона движения штока цилиндра | |  |
| 2.2 | Определение хода штока гидроцилиндра | |  |
| 2.3 | Построение кинематических диаграмм | |  |
| 2.4 | Построение плана скоростей | |  |
| 2.5 | Построение плана ускорений | |  |
| 3 | Кинетостатический расчёт механизма шасси | |  |
| 3.1 | Определение инерционной нагрузки | |  |
| 3.1.1 | Определение масс звеньев | |  |
| 3.2 | Силовой расчет | |  |
| 3.2.1 | Силовой расчёт группы 221 (4,5) | |  |
| 3.2.2 | Силовой расчёт группы 222 (2,3) | |  |
| 3.3 | Кинетостатика начального звена | |  |
| 3.4 | Определение потерь мощности на трение | |  |
| Контрольные вопросы | | |  |
| Заключение | | |  |
| Список литературы | | |  |

**ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *L -* | длина звена | м |
| *S -* | линейное перемещение точки или звена | м |
| *φ -* | Угол поворота звена | Рад. |
| *α -* | Угол отклонения звена | Град. |
| *θ -* | Угол уборки | Град. |
| *t -* | время | с |
| *V -* | Линейная скорость | м·с-1 |
| *ω -* | Угловая скорость | с-1 |
| *n -* | Частота вращения | об/мин |
| *an -* | Нормальная составляющая ускорения | м·с-2 |
| *aτ-* | Тангенциальная составляющая ускорения | м·с-2 |
| *ac -* | Ускорение Кориолиса | м·с-2 |
| *ae -* | Переносное ускорение | м·с-2 |
| *aa -* | Абсолютное ускорение | м·с-2 |
| *ar -* | Относительное ускорение | м·с-2 |
| *ε -* | Угловое ускорение | с-2 |
| *d -* | диаметр | м |
| *F -* | сила | Н |
| *Fи -* | Сила инерции | Н |
| *Fo -* | Сила сопротивления | Н |
| *P -* | давление | Па |
| *M -* | Момент | Н·м |
| *m -* | Масса звена | кг |
| *G -* | Вес звена | Н |
| *Is -* | Центральный момент инерции звена | кг·м2 |
| *T -* | Момент инерции звена относительно оси вращения | кг·м2 |
| *E -* | Кинетическая энергия | Дж |
| *μ -* | Масштабный коэффициент |  |
| *f -* | Коэффициент трения |  |
| *R -* | Реакция в кинематической паре | Н |
| *η -* | Коэффициент полезного действия |  |
| *W -* | Степень подвижности |  |
| *p -* | Количество кинематических пар |  |

ВВЕДЕНИЕ

В методических указаниях представлены рычажные механизмы, которые широко применяются в механизмах общего машиностроения и в механизмах летательных аппаратов. В качестве механизма летательных аппаратов рассмотрен кулисный механизм выпуска и уборки шасси самолёта (задание 1-4). Целью выполнения проекта является определение недостающих размеров звеньев механизма, определение законов их движения под действием заданных сил.

Исходными данными на проектирование являются: кинематическая схема механизма; линейные размеры звеньев и координирующие углы; внешние силы, действующие в механизме. На шасси самолёта действуют: силы тяжести звеньев шасси и колеса; силы инерции звеньев; силы аэродинамического сопротивления; движущая (уравновешивающая) сила, приложенная к штоку привода – гидроцилиндра; сила трения в кинематических парах механизма уборки и выпуска шасси.

Величина силы аэродинамического Fα зависит от положения стойки шасси, угол поворота которой α и силы F0 - аэродинамического сопротивления стойки шасси в выпущенном положении.

Исследование кулисного механизма шасси самолёта состоит из структурного, кинематического и силового анализа. При кинематическом анализе ведущим звеном механизма будет шток, закон движения которого определяется из условия постоянства давления в гидроцилиндре (в принципе может быть задан любой закон изменения давления).

**ЗАДАНИЯ**

|  |
| --- |
| Задание №1 Механизм шасси |
|  |

Указания:

1. Масса погонного *мм* звена 0,06 кг. Момент инерции определить как для материальной линии;

2. Диаметры цапф 50 мм, коэффициент трения *f* = 0,15;

3. Массой звеньев 1 и 2 пренебречь;

4. Принять *Fα = F0cosα*, где *α* - угол отклонения

звена 3 от 0;

5. Угол между стойкой 0-Е и поводком O1А звена 3 выбрать из условия получения наименьшего угла давления;

6. Масса колеса *mкол* = 80 кг;

7. *hфюз*=250 мм;

8. Диаметр колеса *dK* = 450 мм;



Таблица 1– Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Данные | Обозначения | Размерности | Варианты | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Длины звеньев |  | мм | 200 | 220 | 225 | 250 | 200 | 220 | 230 | 240 |
|  | 700 | 845 | 820 | 860 | 800 | 830 | 840 | 850 |
|  | 110 | 115 | 120 | 110 | 115 | 120 | 125 | 115 |
|  | 1400 | 1420 | 1350 | 1450 | 1330 | 1380 | 1410 | 1480 |
| Координаты осей вращения звеньев относительно стойки |  | мм | 275 | 270 | 250 | 260 | 265 | 275 | 275 | 280 |
|  | 175 | 165 | 170 | 170 | 150 | 165 | 160 | 170 |
|  | -700 | -1000 | -110 | -1050 | -950 | -1000 | -800 | -1020 |
|  | 450 | 465 | 500 | 420 | 400 | 380 | 350 | 340 |
|  | 900 | 925 | 900 | 950 | 850 | 900 | 920 | 950 |
| Угол уборки | *θ* | град | 107 | 100 | 110 | 105 | 110 | 100 | 105 | 110 |
| Время убор. | *tуб* | сек | 4 | 5 | 3 | 3,5 | 4 | 5 | 3 | 3,5 |
| Сила сопр. | *F0* | Н | 5000 | 4000 | 4500 | 4200 | 4000 | 5500 | 5000 | 4500 |

|  |
| --- |
| Задание №2 Механизм шасси |
|  |

Указания:

1. Масса погонного *мм* звена 0,06*кг*. Момент инерции определить как для материальной линии;
2. Диаметр цапф 50 *мм*, коэффициент трения *f* = 0,15;
3. Массой звеньев 4 и 5 пренебречь;
4. Принять *Fα* = *F0cosα*, где *α* - угол отклонения звена 3 от вертикали;
5. Масса колеса *mкол* = 80 кг.

Таблица 2 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Данные | Обозначения | Размерности | Варианты | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Длины звеньев |  | мм | 1850 | 1700 | 1550 | 1400 | 1510 | 1080 | 1850 | 1550 |
|  | 1210 | 900 | 750 | 700 | 810 | 780 | 650 | 640 |
|  | 350 | 300 | 350 | 250 | 300 | 125 | 350 | 500 |
|  | 700 | 820 | 630 | 770 | 830 | 590 | 790 | 650 |
| Координаты осей вращения звеньев относительно стойки |  | мм | 900 | 1100 | 900 | 970 | 800 | 800 | 1100 | 900 |
|  | 180 | 100 | 100 | 200 | 480 | 40 | 100 | 100 |
|  | 0 | 200 | -100 | 0 | 0 | 100 | 100 | -200 |
|  | 500 | 400 | 300 | 500 | 500 | 300 | 500 | 500 |
| Угол поворота стойки | *θ* | град | 90 | 90 | 90 | 120 | 120 | 90 | 90 | 90 |
| Диаметр колеса | *Dk* | мм | 800 | 750 | 900 | 800 | 900 | 800 | 800 | 800 |
| Время убор. | *tуб* | сек | 4,0 | 5,0 | 4,5 | 4,5 | 5,0 | 5,0 | 3,0 | 3,0 |
| Сила сопр. | *F0* | Н | 5000 | 4000 | 4500 | 4200 | 4000 | 5500 | 5000 | 4500 |

|  |
| --- |
| Задание №3 Механизм шасси |
|  |

Указания:

1. Массой звеньев 1 и 2 пренебречь, массы других звеньев определить по формуле *ql*, где  (масса погонного мм);
2. Центры масс звеньев 3, 4 и 5 лежат на середине В03, СВ, С'Д. Моменты инерции определить как ;
3. Масса колеса *mk*= 100кг;
4. Диаметр колеса *dk*= 800мм;
5. Диаметры цапф 50*мм*, коэффициент трения *f*= 0,15;
6. Принять *Fα* = *F0cosα*, где *α* - угол отклонения стойки 5 от оси у. *Fα* приложить в точке S5 звена 5.

Таблица 3 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Данные | Обозначения | Размерности | Варианты | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Длины звеньев |  | мм | 1375 | 1390 | 1400 | 1420 | 1450 | 1500 | 1550 | 1680 |
|  | 720 | 750 | 725 | 750 | 775 | 800 | 825 | 890 |
|  | 125 | 120 | 120 | 125 | 165 | 130 | 125 | 170 |
|  | 680 | 720 | 750 | 725 | 700 | 725 | 710 | 685 |
|  | 175 | 190 | 245 | 240 | 125 | 200 | 210 | 250 |
|  | 125 | 125 | 125 | 100 | 125 | 125 | 120 | 100 |
|  | 60 | 75 | 80 | 95 | 50 | 55 | 600 | 80 |
|  | -1475 | -1500 | -1500 | -1520 | -1550 | -1600 | -1650 | -1780 |
|  | 900 | 1000 | 1025 | 1010 | 950 | 980 | 975 | 920 |
|  | 275 | 250 | 245 | 240 | 230 | 250 | 255 | 220 |
| Угол поворота стойки | *θ* | град | 90 | 95 | 100 | 105 | 110 | 100 | 90 | 95 |
| Время убор. | *tуб* | сек | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 4,0 | 4,5 | 5,0 |
| Сила сопр. | *F0* | Н | 3000 | 3200 | 3500 | 3600 | 3750 | 4000 | 3100 | 3250 |

|  |
| --- |
| Задание № 4 Механизм шасси |
|  |

Указания:

1. Масса погонного *мм* звена 0,06*кг*. Момент инерции определить как для материальной линии;
2. Диаметр цапф 50 *мм*, коэффициент трения *f* = 0,15;
3. Массой звеньев 4 и 5 пренебречь;
4. Принять *Fα* = *F0cosα*, где *α* - угол отклонения звена 2 от вертикали;
5. Масса колеса *mкол* = 80 кг.

Таблица 4 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Данные | Обозначения | Размерности | Варианты | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Длины звеньев |  | мм | 1835 | 2000 | 1390 | 1680 | 918 | 740 | 695 | 840 |
|  | 150 | 100 | 0 | 0 | 75 | 50 | 0 | 0 |
|  | 450 | 450 | 450 | 300 | 225 | 225 | 225 | 150 |
|  | 1170 | 1170 | 1120 | 1000 | 585 | 585 | 560 | 500 |
| Координаты осей вращения звеньев относительно стойки |  | мм | -1300 | -1000 | -850 | -850 | -650 | -500 | -425 | -425 |
|  | 670 | 670 | 670 | 400 | 335 | 335 | 385 | 200 |
|  | -2450 | -2150 | -2000 | 0 | -1225 | -1075 | -1000 | 0 |
|  | 1080 | 1000 | 900 | 200 | 540 | 500 | 450 | 100 |
| Угол поворота стойки | *θ* | град | 54 | 40 | 60 | 60 | 54 | 50 | 60 | 60 |
| Диаметр колеса | *Dk* | мм | 1000 | 1000 | 1000 | 800 | 600 | 500 | 600 | 400 |
| Время убор. | *tуб* | сек | 4,0 | 5,0 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 5,0 | 3,0 | 3,5 |
| Сила сопр. | *F0* | Н | 5000 | 4000 | 4500 | 4200 | 4000 | 5500 | 5000 | 4500 |

Примечание: Во всех заданиях центры масс звеньев принять посередине звеньев.

**1 Структурный анализ**

**механизма уборки и выпуска стойки шасси**

**1.1 Определение степени подвижности механизма**

Степень подвижности механизма определяется по формуле Чебышева:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (1.1) |

где *W* – степень подвижности;

*n* – количество подвижных звеньев;

*P5* – количество пар пятого класса;

*P4* – количество пар четвёртого класса.

На рис.1.1 изображён механизм уборки и выпуска шасси самолёта, для которого *n*=5, *P5*=7, *P4*=0, *W*=1.

|  |
| --- |
| Рисунок 9.jpg |
| Рис. 1.1 – Механизм уборки и выпуска шасси самолёта |

**1.2 Структурные группы Асура**

Механизм, приведённый на рис.1.1 разобьём на структурные группы. Ведущим звеном (входным) является гидроцилиндр 1, остальные группы ведомые.

Структурные группы отделяем, начиная с наиболее удалённой точке от входного звена. Данные группы представлены отдельно на рис. 1.2, для которых определены класс, порядок и вид.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
| Группа | Группа | Входное звено 1(01,1) |
| Рис. 1.2 – Структурная схема механизма уборки  и выпуска шасси самолёта | | |

**1.3 Формула строения и класс механизма**

Формула строения механизма записывается по порядку присоединения структурных групп к входному звену 1:

|  |
| --- |
| . |

Механизм относится ко второму классу, так как наивысший класс структурной группы, входящей в него – второй.

**2 Кинематический анализ механизма**

**2.1 Определение закона движения штока цилиндра**

Если примем, что давление *Р* в цилиндре величина постоянная, то дифференциальное уравнение движения штока цилиндра можно записать в следующем виде:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

где  - относительное ускорение,

 - масса штока,

 - гидравлическое усилие.

Так как , то , тогда относительное ускорение штока будет иметь вид:



В начальный и конечный момент движения относительная скорость штока  равна нулю. Тогда график изменения относительной скорости  представлен на рисунке 2.1, где  – время на уборку механизма шасси (задано в исходных данных)

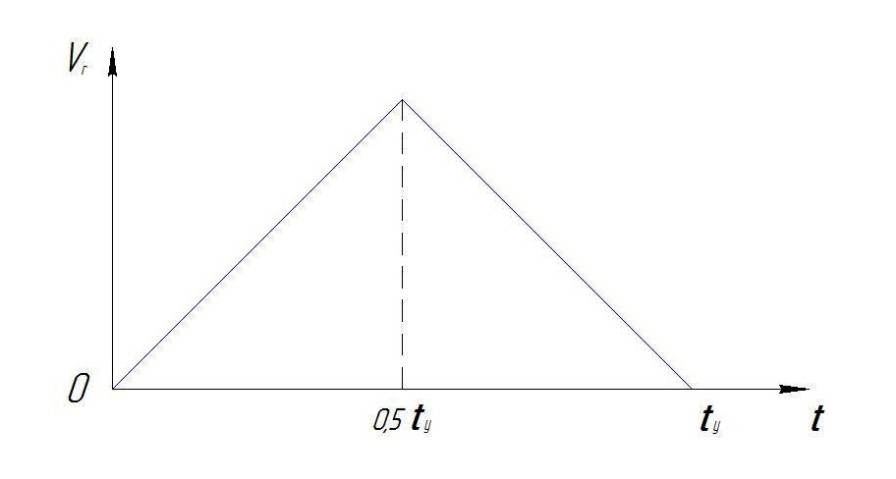


Рисунок 2.1- График изменения относительной скорости штока

Так как , то график изменения ускорения представлен на рисунке 2.2, то есть 

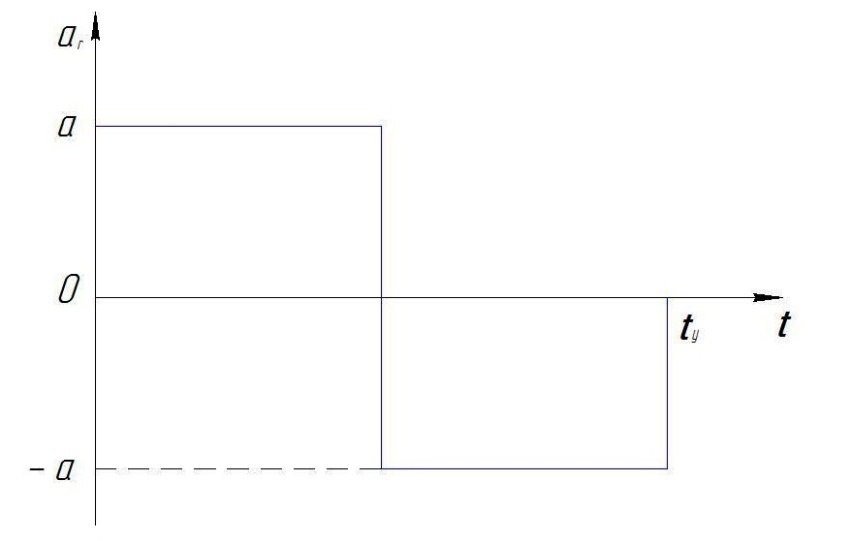


Рисунок 2.2 - График изменения относительного ускорения штока



Закон изменения перемещения: 





При, где  - ход штока. Тогда величина относительного ускорения 

При 





При 







Тогда график изменения перемещения будет представлен на рисунке 2.3.

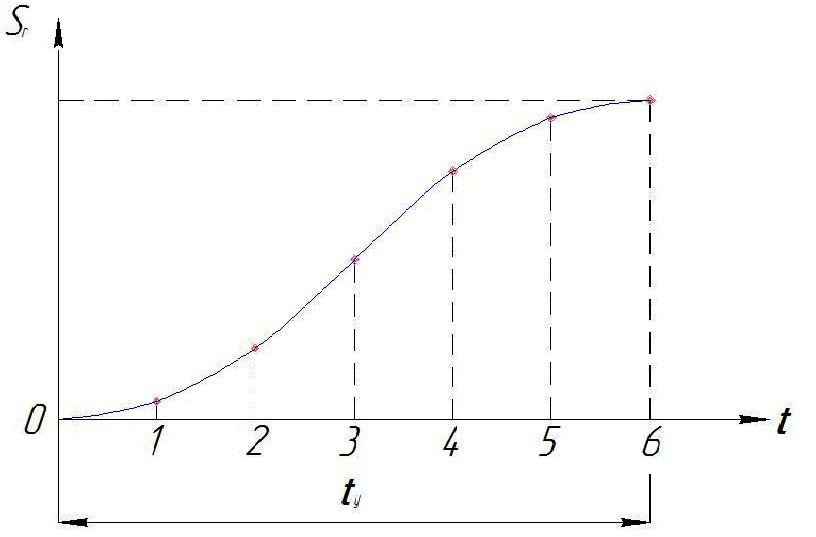


Рисунок 2.3 –График изменения перемещения штока

Если возьмем  , то в таблице 1 будут приведены относительная скорость и перемещение штока цилиндра механизма уборки шасси.

Таблица 1 - Зависимость времени, скорости и перемещения механизма шасси

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № положения  механизма | t | Vr | Sr |
|  | с | м/с | м |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 |  |  |  |
| 2 | 3  *у*  *t* |  |  |
| 3 |  |  |  |
| 4 |  |  |  |
| 5 |  |  |  |
| 6 |  |  |  |

**2.2 Определение хода штока из условия получения минимум угла давления**

Желательно, чтобы угол передачи между штоком цилиндра и коромыслом был максимальным, то есть близким к .

Для этого строим стойку шасси в двух крайних положениях, а угол θ задан в исходных данных (Рисунок 2.4). В выпущенном положении шасси звенья 3 и 4 расположены по одной прямой. Построив механизм шасси в этом положении определим размер звена 4 (), зная  из исходных данных.

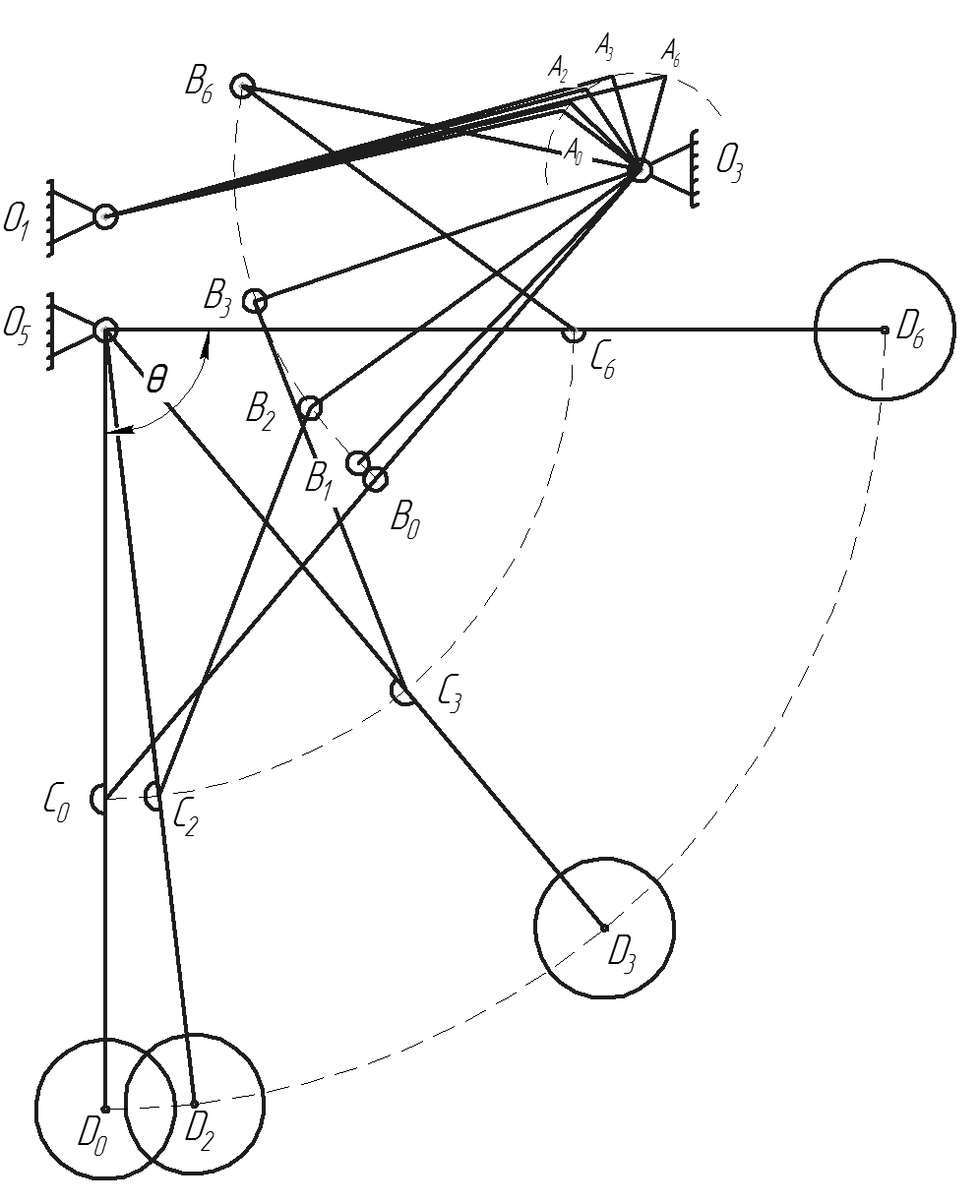


Рисунок 2.4 – Построение плана положений механизма

На дуге  определим среднее положение точки . Строим траекторию движения точки . Точка  движется по окружности вокруг точки . Из точки  проводим касательную к окружности радиуса . Точка касания будет точкой , то есть угол  будет равен . Тогда угол . Определив угол , находим начальное и конечное положение точки  и . Соединим точку  с точкой  и с точкой . Тогда зная  и , определим ход штока (Рисунок 2. 5).



Рисунок 2.5 – Определения положения точки  в зависимости от времени уборки шасси

Задаваясь временем , взяв за интервал движения , построим все положения точки , пользуясь таблицей 1.

, , ,,.

Зная положение точки  и угол  строим механизм шасси во всех шести положениях.

**2.3 Построение кинематических диаграмм движения стойки шасси**

Зная положение звена 5 во всех шести положениях механизма, построим график  - рисунок 2.6.

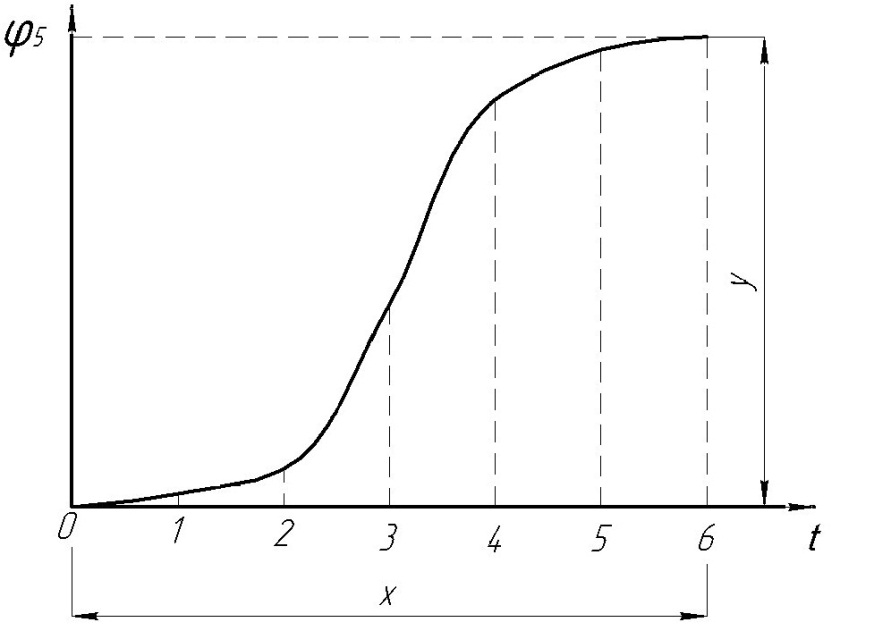


Рисунок 2.6 – График изменения угла поворота стойки шасси

Определим масштабный коэффициент , , и 

Графически продифференцируем график , и получим закон изменения угловой скорости - рисунок 2.7.

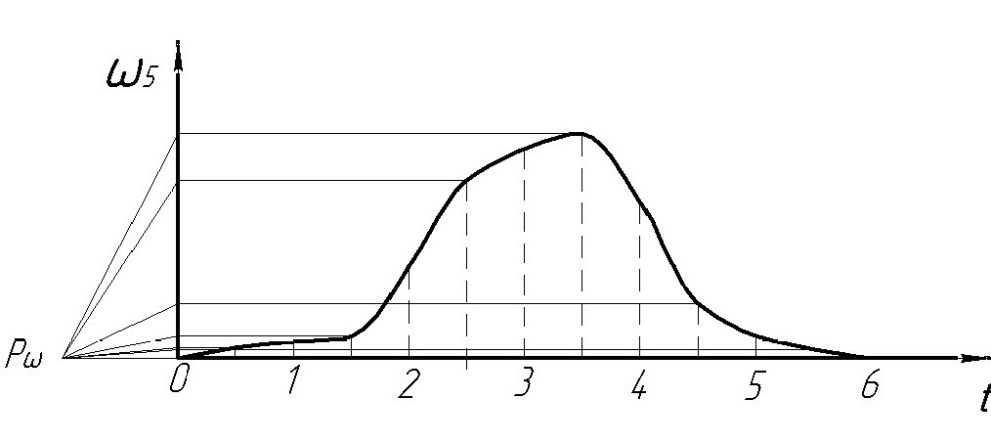


Рисунок 2.7 – График изменения угловой скорости стойки шасси

Масштабный коэффициент ,

Графически продифференцируем график  и получим график  - рисунок 2.8.

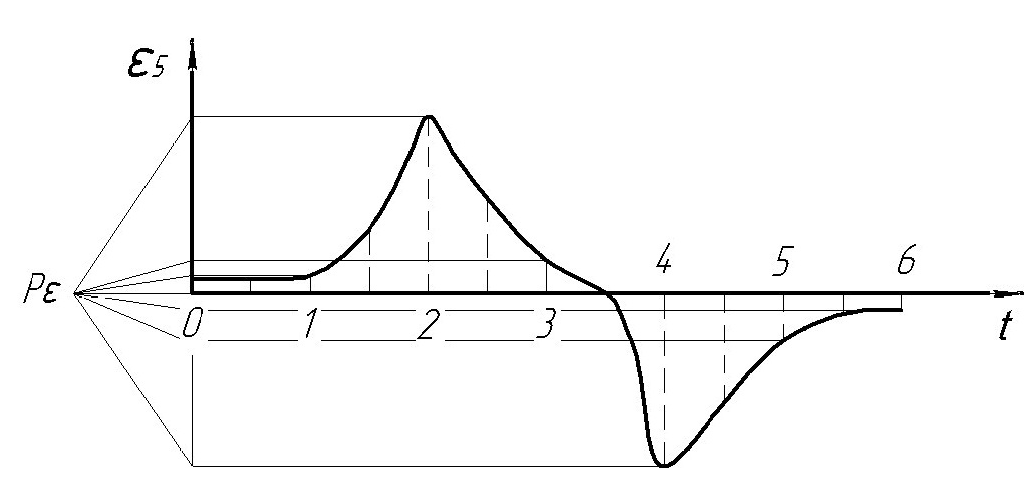


Рисунок 2.8 – График изменения угловой скорости стойки шасси

Масштабный коэффициент ,.

**2.4 Построение плана скоростей**

На рисунке 2.9 показано промежуточное положение механизма шасси, для которого необходимо построить план скоростей и ускорений. За абсолютное движение точки  возьмем вращательное движение точки вокруг точки . За относительное движение точки A возьмем движение штока относительно цилиндра (параллельно отрезку ).

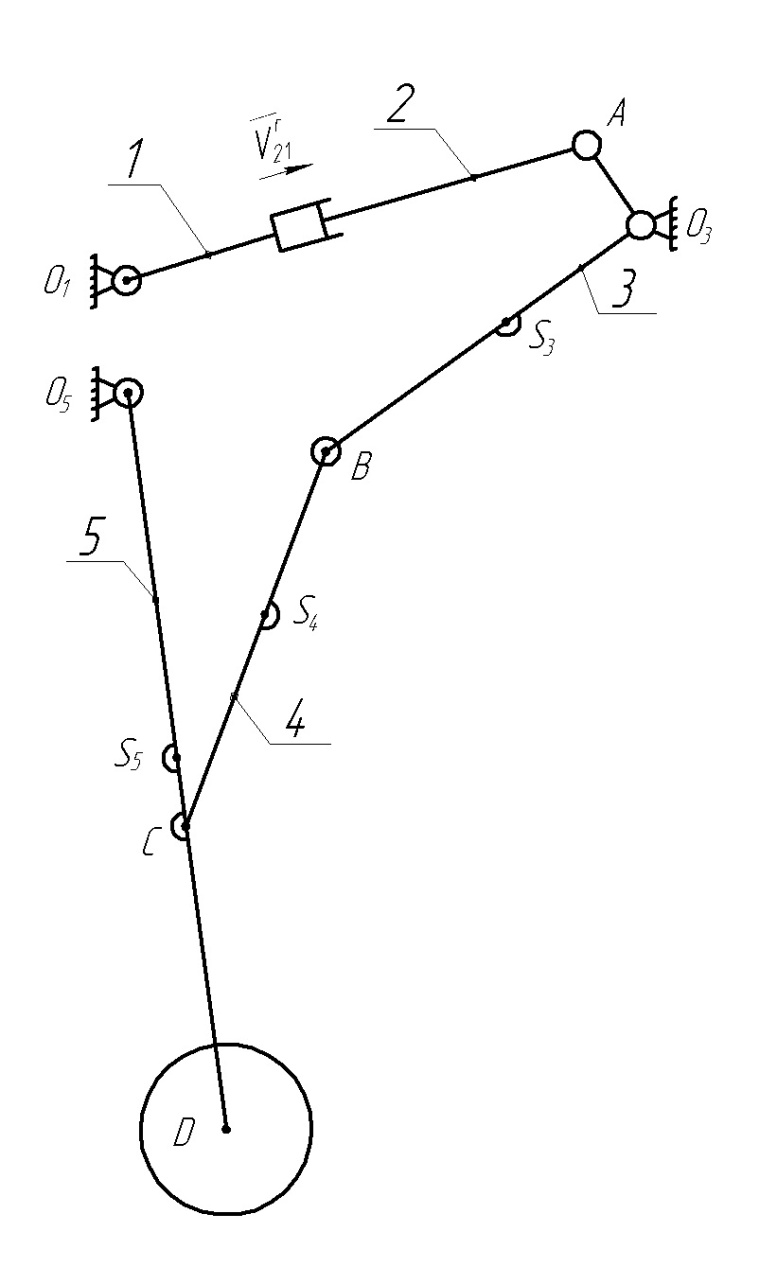


Рисунок 2.9- Кинематическая схема механизма шасси

Для заданного положения механизма определяется относительная скорость

штока  и относительное ускорение  по таблице 1.

Тогда определим абсолютную скорость

Точки :





При этом:



Тогда векторное равенство (1) можно записать в следующем виде



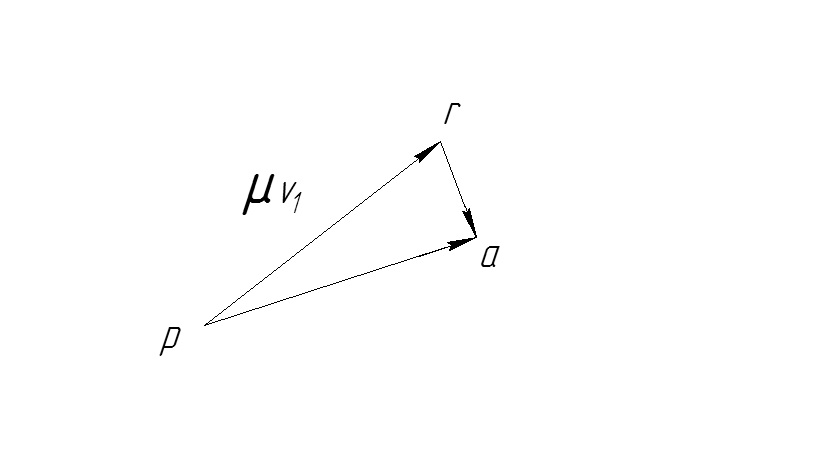


Рисунок 2.10 – Построение плана скоростей (определение скорости точки )

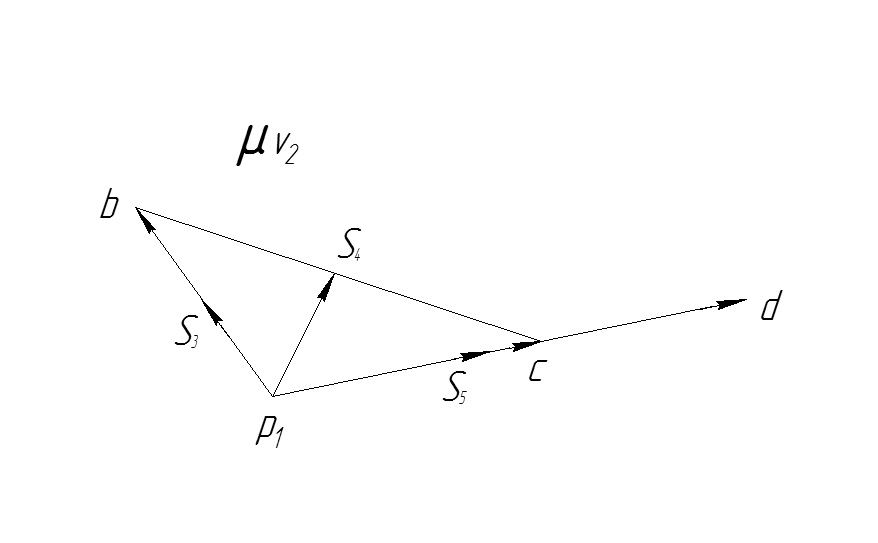


Рисунок 2.11 – Построение плана скоростей механизма шасси

Выбрав масштабный коэффициент , , определим длину отрезка , мм. Начинаем построение плана скоростей с построения относительной скорости штока цилиндра , которая будет параллельна отрезку и на рисунке 2.10 изображаться отрезком . Из полюса (точки **) проводится отрезок, перпендикулярный , а из точки  проводится отрезок, перпендикулярный . Определим неизвестные величины:

,

.

Можем определить угловые скорости звеньев 1, 2, 3.

,

.

Скорость точки :

, или  можно определить из зависимости

, тогда .

Скорость точки :

 (4.3)



,

.

Можно определить угловые скорости звеньев 4, 5:

,

.

Скорости точек  определим .

Скорость точек  определим пользуясь теоремой подобия:

,

.

**2.5 Построение плана ускорений**

Векторное уравнение для точки  запишем в следующем виде:



Где абсолютное ускорение:





,

Переносное ускорение:





,

Относительное ускорение:



Ускорение Кориолиса:







Векторное уравнение тогда запишем в следующем виде:





Выбираем масштабный коэффициент ,.

Построение плана ускорений (рис. 2.12) начинаем с построения ускорения  (отрезок ). Из точки проводится линия перпендикулярная  (направление ускорения ).

Из полюса  строим ускорение (отрезок ), далее ускорение (отрезок ) и ускорение (отрезок ). Из точки проводим линию перпендикулярную (направление ускорения ). На пересечении двух линий получаем абсолютное ускорение точки (отрезок ).

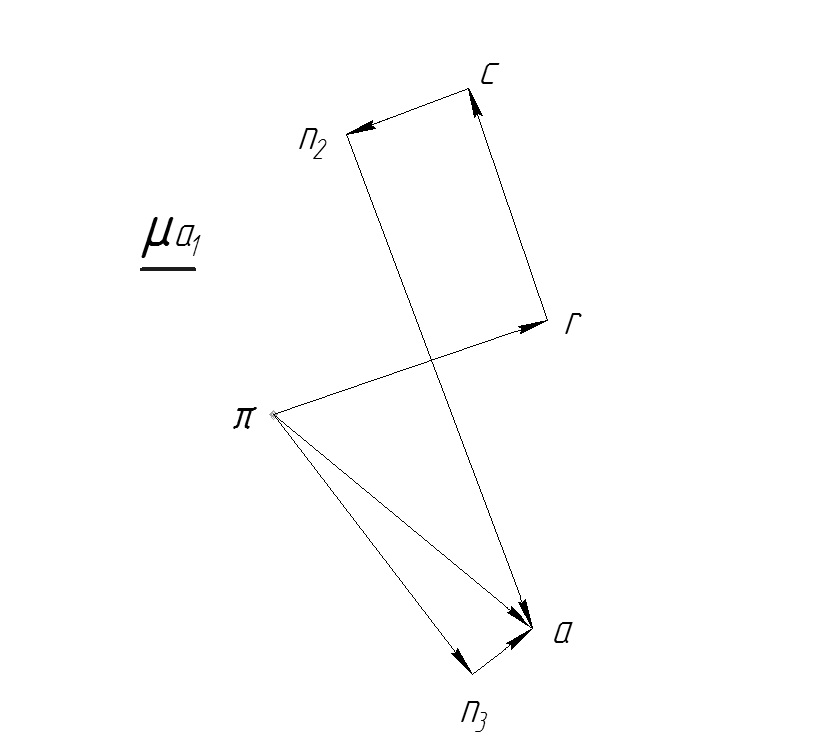


Рисунок 2.12 – Построение плана ускорений (определение ускорения точки )

Определяем тангенциальные составляющие ускорений и угловые ускорения звеньев 1, 2, 3.

,

,

,

.

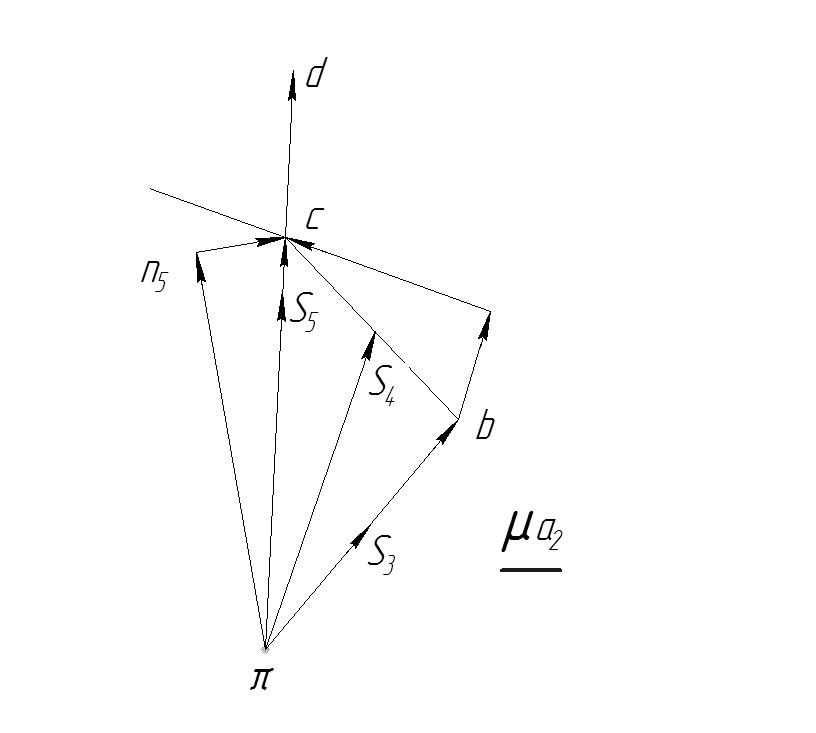


Рисунок 2.13 – План ускорений механизма шасси

На рис. 2.13 представлен построение плана ускорений для других точек механизма шасси.

















,

,

Тогда уравнения (5.8) и (5.9) можно записать в следующем виде:



Из точки  проводим ускорение (отрезок ), а из точки  проводим линию, перпендикулярную . Из полюса проводим ускорение (отрезок ), а из точки  линию, перпендикулярную . На пересечении линий получаем ускорение точки .

Определяем тангенциальные составляющие ускорений и ускорения звеньев 4,5.

,

,

,

.

Пользуясь теоремой подобия определяем ускорения точек .

*Контрольные вопросы*

**3 Кинетостатический расчёт механизма шасси**

Целью кинетостатического (силового) расчёта механизма шасси является определение реакций в кинематических парах и уравновешивающей силы в гидроцилиндре. Реакции в кинематических парах относятся к внутренним силам, знание которых необходимо для расчёта звеньев на прочность, жёсткость, вибростойкость, износостойкость и для проведения других расчётов при проектировании механизма.

Силовой расчёт проводится для того положения механизма, для которого построены планы скоростей и ускорений. Реакции в кинематических парах будем определять при отсутствии в них трения. Силовой расчёт проводится по структурным группам Ассура, так как она статически определима. Для кинематической схемы механизма шасси (рисунок 1) структурная формула строения механизма: 1(0,1)→ 222 (2,3) →221(4,5).

|  |
| --- |
| Рисунок 9.jpg |
| Рисунок 3.1 – Кинематическая схема механизма шасси |

Расчёт начинается с наиболее удалённой от ведущего звена структурной группы Ассура.

3.1 Определение инерционной нагрузки

3.1.1 Определение масс звеньев

Для определения сил инерции и инерционных моментов необходимо знать величины масс звеньев, значения ускорений центров масс звеньев и значения угловых ускорений.

В заданиях по проектированию механизмов шасси массой звеньев 1 (штока) и 2 (гидроцилиндра) пренебрегают. План ускорений механизма представлен на рисунке 2.

|  |
| --- |
| Рисунок 13.jpg |
| Рисунок 3.1 – План ускорений механизма шасси |
|  |

Массы звеньев определяют по следующей зависимости:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3.1) |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

где – масса погонного (мм) звена (дана в исходных данных);

*li –* длиназвена в мм.

Тогда  Центры масс звеньев 4 и 5 находятся посередине звеньев.

Звено 3 (рисунок 3) имеет V – образную конфигурацию, тогда для части звена 3 (О3B) ; для части звена О3А . Центры масс  и  находятся посередине ВО3 и АО3.

|  |
| --- |
| рисунок 3 |
| Рисунок 3.2 – Определение положения центра масс звена 3 |

Эти массы приведём к точке  по следующей зависимости (2) из равенства кинетических энергий

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *.* | (2) |

На рисунке 4 для звена 5 – стойки шасси, на котором в точке D закреплено колесо, даны масса звена 5 (m5) и масса колеса (mk), найдём положение центра масс SΣ по следующей зависимости:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

|  |
| --- |
| рисунок 4 |
| Рисунок 3.3 – Определение положения центра масс звена 5 |

Тогда в точке SΣ будет приложена масса колеса и масса звена 5. Момент инерции звена 5 относительно центра массы SΣ найдём по следующей зависимости:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4) |

где *Rk* - радиус колеса;

 – длина звена 5.

Для звена 4, центр массы которого находится на середине звена, момент инерции относительно центра массы определим по формуле (5):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | . | (5) |

Сила инерции звена *Fu* равна произведению массы звена - m на ускорение его центра тяжести *Ws* и направлена в сторону, противоположную ускорению. Момент силы инерции *Tu*определяется, как произведение момента инерции массы звена *Is*, вычисленного относительно его центра тяжести, на угловое ускорение звена *ε* и направлен в сторону, противоположную угловому ускорению.

Инерционная нагрузка для звена 5 *Fu5* и момент силы инерции *Tu5* определяется следующим образом:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (6) |

Для облегчения проведения силового расчёта удобно привести инерционные нагрузки к одной результирующей силе инерции. Рекомендуется момент сил инерции *Tu*заменить парой сил. Каждая сила этой пары должна быть равна силе инерции звена, плечо пары *h* определится в виде формулы (7):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (7) |

Можно инерционный момент *Тu* заменить парой сил инерции. Тогда плечо пары для звена 5 будет (точка приложения К5):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

Инерционная нагрузка для звена 4:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | . | (8) |

Инерционный момент заменим парой сил, тогда плечо пары (точка приложения К4):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (9) |

Инерционная нагрузка для звена 3:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | . | (10) |

Момент инерции  относительно точки  можно определить по следующей зависимости:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (11) |

Инерционный момент  и плечо пары (точка приложения К3):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (12) |

3.2 Силовой расчет

3.2.1 Силовой расчёт группы 221 (4,5)

Схема нагружения звеньев 4 и 5 приведена на рисунке 5. В точке  приложена сила сопротивления  где значение  дано в исходных данных, а угол  - угол отклонения звена 5 от вертикали. На звене 5 в точке SΣ приложена сила тяжести звена 5 и колеса. В точке *К5*  (центр качания звена 5) приложена сила инерции  В точке *О5* приложена сила реакции связи , которую разложили на две составляющие  (перпендикулярно звену 5) и  (параллельно звену 5).

В точке *S4* приложена сила тяжести звена 4. В точке *К4* (центр качания звена 4) приложена сила инерции . В точке*В* сила реакции шарнира , которую разложили на две составляющие  (перпендикулярно звену 4) и  (параллельно звену 4).

|  |
| --- |
| рисунок 5 |
| Рисунок 3.4 – Схема нагружения группы звеньев 4-5 |

Определим тангенциальные составляющие реакций в шарнирах  и  из уравнений моментов относительно промежуточного шарнира (точки С).

Рассмотрим равновесие звена 4.

Рассмотрим равновесие звена 5.

Рассмотрим равновесие группы и запишем следующее векторное уравнение для построения плана сил и определения нормальных составляющих реакций  и .



План сил представлен на рисунке 6.

|  |
| --- |
| рисунок 6 |
| Рисунок 3.5 – План сил для группы звеньев 4-5 |

Для определения реакции связи в шарнире С рассмотрим равновесие звена 5 и составим векторное уравнение:



Достроим план сил для определения 

3.2.2 Силовой расчёт группы 222 (2,3)

Кинематическая схема группы представлена на рисунке 7.

|  |
| --- |
| рисунок 7 |
| Рисунок 3.6 – Схема нагружения группы звеньев 2-3 |

По исходным данным пренебрегаем массой звена 2. Нагрузим группы силами. В точке*В* реакция связи  В точке *О3* реакцию связи  разложим на составляющие  (перпендикулярно *АО3*) и  (параллельно *АО3*). Силу инерции приложим в точке *К3* – центре качания звена (смотри п. 1), переносящие точки *S3* на расстояние *h3*. Уравновешивающую*Fур*приложим к штоку (звено 2) и направим по направлению движения штока.

Рассмотрим равновесие звена 3 для определения реакции связи .

Для определения  и  рассмотрим равновесие группы и составим векторное уравнение:

План сил представлен на рисунке 8.

|  |
| --- |
| рисунок 8 |
| Рисунок 4.7 – План сил группы звеньев 2-3 |

Из рассмотрения равновесия звена 2 реакция в шарнире*А*равна

**3.3 Кинетостатика начального звена**

За начальное звено принят гидроцилиндр. Схема нагружения представлена на рисунке 9. Реакция связи в поступательной паре между штоком и цилиндром не будет, так как весом гидроцилиндра и штока пренебрегли.

|  |
| --- |
| рисунок 9 |
| Рисунок 3.8 – схема нагружения звена 1 |

**3.4 Определение потерь мощности на трение**

Потери мощности на трение определим в шарнирах *О1, А, О3, О5, В, С*.

В этих шарнирах вращательные кинематические пары, для которых потери мощности на трение определяются по следующей зависимости:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | *=f* | (12) |

где *f* – коэффициент трения скольжения,

*Rig*– реакция связи в шарнире,

*dц* – диаметр цапфы,

*ωig* – относительная угловая скорость.

=, знак «плюс» соответствует случаю, когда звенья вращаются в разные стороны, знак «минус» - когда звенья вращаются в одну сторону.

*Контрольные вопросы*

**Заключение**

В методических указаниях дана методика силового расчёта механизма шасси. Зная уравновешивающую силу и задав диаметр штока можно определить необходимое давление жидкости в гидросистеме. Зная реакции в кинематических парах можно производить прочностные расчёты.

**Список литературы**

1 К.В. Фролов и др., Теория механизмов и механика машин [текст]: учебник для втузов. – М.: Высшая школа, 2005, - 496 с.

2 А.Н. Мамаев, Т.А. Балабина, Теория механизмов и машин [текст]: учебник. М: Экзамен, 2008, - 254 с.

3Курсовое проектирование по теории механизмов и машин [Текст]: учебное пособие для втузов /С.А. Попов [ и др.]; под ред. К.В. Фролова – М.: Высшая школа, 2001. – 295с.

4 Теория механизмов и машин в авиастроении [Текст]: учебное пособие для втузов /А.П. Савинов, Н.П. Коробова; под ред. В. Н. Самсонова – Самара, издательство СГАУ, 2008. – 160с.

5 Проектирование и исследование механизмов с гидроприводом [Текст]: Методические указания к курсовому проектированию / Ж.Е. Шум. – Самара, издательство СГАУ. – 1996. – 24с.