СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

[ВВЕДЕНИЕ 3](#_Toc136327183)

[Задание 1 – Геометрический синтез и проектирование прямозубого эвольвентного зацепления 4](#_Toc136327184)

[1.1 Исходные данные 4](#_Toc136327185)

[1.2 Определение геометрических размеров колес 4](#_Toc136327186)

[Задача 2 – Кинематический и силовой анализ рычажного механизма 9](#_Toc136327187)

[2.1 Характеристика исполнительного механизма 9](#_Toc136327188)

[2. 2 Структура механизма, подвижность 9](#_Toc136327189)

[2.3 Определение крайних положений механизма 11](#_Toc136327190)

[2.4 Построение плана механизма и плана скоростей 12](#_Toc136327191)

[2.5 Результаты кинематического исследования 19](#_Toc136327192)

[2.6 Построение плана ускорений 21](#_Toc136327193)

[2.7 Определение активных сил, сил и моментов сил инерции звеньев механизма 33](#_Toc136327194)

[2.8 Силовой расчет группы Ассура (4-5) 34](#_Toc136327195)

[2.9 Силовой расчет группы звеньев 2-3 36](#_Toc136327196)

[2.10 Силовой расчёт ведущего первичного механизма 39](#_Toc136327197)

[2.11 Определение уравновешивающей силу с помощью рычага Жуковского 41](#_Toc136327198)

[2.12 Определение погрешности силового расчета 43](#_Toc136327199)

# ВВЕДЕНИЕ

Целью данной курсовой работы является исследование и проектирование рычажного механизма.

Проект содержит задачи по исследованию, проектированию и синтезу простых в структурном отношении механизмов таких как шарнирно – рычажных, кулачковых, зубчатых.

Курсовое проектирование способствует закреплению, углублению и обобщению теоретических данных, а также по исследованию этих знаний к комплексному решению конкретной инженерной задачи по исследованию и расчёту механизмов и машин, кроме того развивает навыки научно – исследовательской работы.

В состав проектных заданий входят, кроме шарнирно – рычажного механизма, кулачковый и зубчатый, предназначенный для передачи движения к исполнительному органу.

Цель курсового проектирования развивать навыки использования общих методов проектирования и исследования механизмов для создания конкретных машин в приборов разнообразного назначения.

Курсовое проектирование ставит задачи:

1. Проектирование зубчатого механизма и расчёт оптимальной геометрии зубчатого зацепления;
2. Анализ структурной схемы механизма и отдельно кинематических пар;
3. Анализ структурной и кинематической схемы рычажного механизма графическим способом;
4. Силовой анализ механизма с учетом геометрии масс звеньев при движении их с ускорением;
5. Проектирование кулачкового механизма и построение рабочего профиля кулачка

Целесообразность принятия конкретных решений при проектировании механизмов обосновываются функциональным назначением данной машины.

# Задание 1 – Геометрический синтез и проектирование прямозубого эвольвентного зацепления

Цель: Для заданных параметров цилиндрической зубчатой передачи провести геометрический расчёт и выполнить чертеж эвольвентной цилиндрической зубчатой передачи внешнего зацепления.

# 1.1 Исходные данные

числа зубьев колес;

мм модуль зубчатой передачи;

коэффициент высоты головки зубы;

коэффициент радиального зазора;

угол профиля исходного контура;

# 1.2 Определение геометрических размеров колес

1. Определим делительное межосевое расстояние:

(мм)

1. Коэффициенты и смещения исходного контура определим в зависимости от числа зубьев и (по формулам ISO):

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Число зубьев колес | Коэффициент смещения | |
|  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

1. Делительный диаметр шестерни и колеса:

(мм)

(мм)

1. Смещение исходного контура

у шестерни

у колеса

1. Определим диаметры основных окружностей
2. Определим угол зацепления зубчатой передачи

Используя таблицы инвалют находим угол зацепления

1. Определим межосевое расстояние
2. Передаточное отношение
3. Определим диаметры начальных окружностей шестерни и колеса

(мм)

(мм)

1. Коэффициент воспринимаемого смещения
2. Коэффициент суммы смещений
3. Определим коэффициент уравнительного смещения.
4. Определим диаметры вершин зубьев шестерни и колеса:
5. Определим диаметры впадин окружностей

(1+0,25-0,3)=54,3

1. Высота делительной ножки зуба (высота головки):

У шестерни

У колеса

1. Высота делительной ножки зуба (высота ножки):
2. Окружной делительный шаг:
3. . Угловой шаг зубьев шестерни и колеса:
4. Хорда делительной окружности, соответствующая угловому

шагу зубьев шестерни и колеса:

1. Толщина зуба по делительной окружностям шестерни и колеса:
2. Углы профиля в точке на окружности вершин:
3. Окружная толщина зуба на окружности вершин:
4. Коэффициенты толщины зубьев по окружности вершин:
5. Высота зуба
6. Радиус кривизны активного профиля зуба в нижней точке

шестерни и колеса:

1. Угол развернутости активного профиля зуба в нижней точке

шестерни и колеса:

1. Для построения эвольвенты следует воспользоваться определением эвольвенты, по которому эвольвенту описывает любая точка нерастяжимой нити при разматывании её окружности. Пусть точка О – конец нити, намотанной на окружности . Будем разматывать её по кусочкам, на которых хорда близка к окружности. Отложим на окружности несколько отрезков и получим точки 1, 2, 3, 4, 5. В каждой точке проведём касательную. По этим касательным направлена разматываемая нить. Из точки 1 отложим один отрезок, из точки 2 два отрезка, из точки 3 – три и так далее. Получаемые точки 1’, 2’, 3’, 4’, 5’ лежат на эвольвенте. Соединив их, получим эвольвенту.

При построении двух зубьев, находящихся в зацеплении в полюсе Р, необходимо провести через этот полюс две сопряжённые эвольвенты. Последовательность построения следующая:

* Отложить на чертеже межосевое расстояние и провести две основные окружности радиусами и
* Отложить от межосевой линии углы зацепления и провести радиусы до пересечения с основной окружностью. Обозначить точки пересечения и .
* Соединить прямой линией точки и (линия зацепления). Она должна пройти через полюс зацепления Р.
* Разбиваем отрезок на 5 частей и, наматывая этот кусок нити на основную окружность, получить точки 0, 1, 2, 3, 4, 5.
* В точках 1…5 проведем касательные прямые и отложим на них соответственно 1…5 отрезков. Получим точки эвольвенты и соединим их лекало.
* Аналогично разбиваем отрезок на 5 частей и, наматывая нить на основную окружность, получаем точки 0…9 для окружности .
* В ранее упомянутых точках проводим касательные прямые аналогичным способом строим эвольвенту сопряженного профиля зуба.

# Задача 2 – Кинематический и силовой анализ рычажного механизма

# 2.1 Характеристика исполнительного механизма

В исполнительном механизме входным звеном является звено 1, выходным – 5 звено. При работе механизма происходит преобразование вращательного движения входного звена в возвратно поступательное движение выходного звена. На выходное звено действует сила сопротивления, возникающая при совершении работы выходным звеном над полезной нагрузкой.

# 2. 2 Структура механизма, подвижность

Для проведения структурного анализа механизма, необходимо: определить подвижность механизма, определить механизм, разложить механизм на структурные группы.

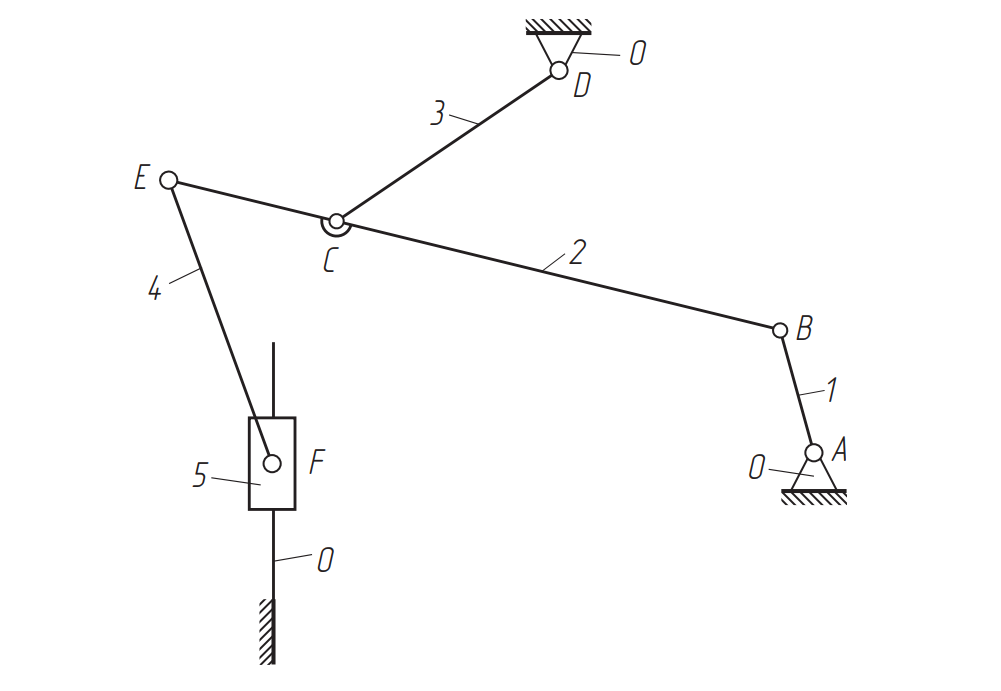


Рис.1 Схема механизма.

Пронумеруем звенья механизма, при этом нулевым звеном обозначим неподвижное звено (стойку). Так как звенья механизма совершают движения параллельно одной плоскости, то его можно отнести к плоским механизмам. Определим подвижность механизма, используя формулу Чебышева П. Л.:

*,* (2.1)

где ­­­ количество подвижных звеньев,

количество кинематических пар пятого класса,

количество кинематических пар четвертого класса.

Посчитаем количество кинематических пар пятого класса:

1. 0-1 вращательная пара,
2. 1-2 вращательная пара,
3. 2-4 вращательная пара,
4. 3-0 вращательная пара,
5. 3-4 вращательная пара,
6. 4-5 вращательная пара,
7. 5-0 поступательная пара.

Таким образом, , , . Подставим эти значения в формулу Чебышева П.Л.:

Полученный результат означает, что заданное движение одного звена, однозначно определяет движение всех остальных звеньев.

В качестве первичного механизма (входного звена) примем звено 1. За обобщенную координату в этом случае можно принять угол поворота первого звена. Звенья механизма будут совершать следующие движения:

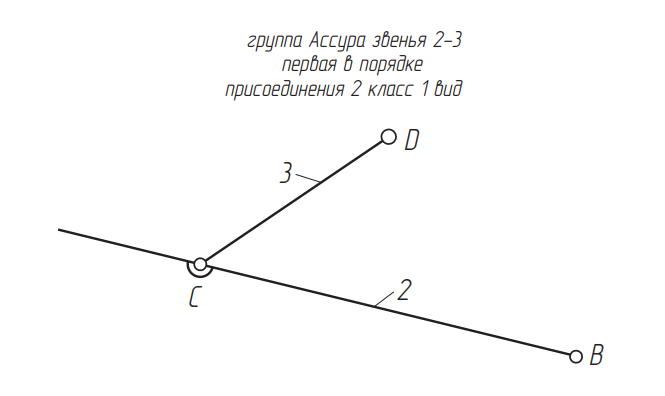
Звено 1 – кривошип, совершает вращательное движение вокруг неподвижной точки;

Звено 2 – шатун, совершает плоское движение;

Звено 3 – коромысло, совершает возвратно вращательное движение вокруг точки D;

Звено 4 – шатун, совершает плоское движение;

Звено 5 – ползун, совершает возвратно поступательное движение вдоль направляющей движения точки F.



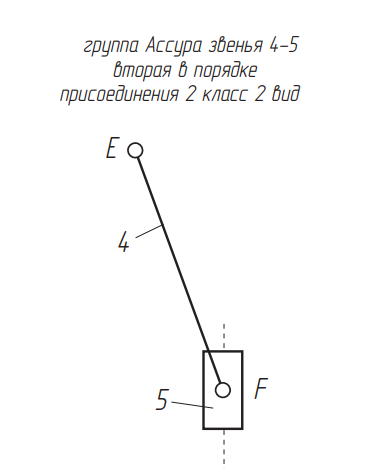
 

Рис. 2 Структурна механизма.

Разложение механизма приведено на (рис.2). Класс механизма определяется по наивысшему классу структурной компоненты входящей в состав механизма. Таким образом, класса механизма 2, так как в его состав входит структурная группа второго класса.

# 2.3 Определение крайних положений механизма

Определим крайние положение механизма, соответствующие началу и концу рабочего хода механизма. Крайние положения определяем по верхней и нижней мертвой точке выходного звена (звено 5 поршень пресса). Для этого воспользуемся тем, что скорость точки F будет равна нулю тогда, когда скорость точки Е будет равна нулю, так как звено 3 совершает возвратно вращательное движение.

Определим крайние положения для звена 3. Для этого воспользуемся тем, что звено 3 займёт крайнее положение тогда, когда точки ABC будут лежать на одной прямой.

Используя крайние положения механизма и направление силы сопротивления, определим направление угловой скорости кривошипа. Рабочий ход соответствует большему углу поворота кривошипа при переходе от одного крайнего положения к второму. Направление вращения входного звена (звено 1 кривошип) указано на чертеже.

Углы рабочего и холостого хода будут равны:

*,*

# 2.4 Построение плана механизма и плана скоростей

Для проведения кинематического исследования простроим совмещённый план механизма, приняв за первое положение соответствующее началу рабочего хода.

Выберем масштаб плана механизма равным:

Тогда длины отрезков соответствующих звеньям и механизма и расстояниям между точками крепления будут равны:

;

;

;

*;*

При построении совмещенного плана механизма выберем положение точки А на чертеже, далее из полученной точки А проведём окружность радиусом Построим положения точки B на чертеже, начиная с крайнего соответствующему началу рабочего хода механизма, выполнив разбивку на 12 положений в направлении вращения угловой скорости первого звена. Определим положение точки D на чертеже используя заданные её координаты. Из полученной точки проведем дугу окружности радиусом Из точек B сделаем засечки радиусом на проведённой дуге С. Соединив между собой полученные точки B и C определим положение второго звена в процессе движения.

Далее для каждого из положений отметим положения точек Е на звене BC. Восстановим положение направляющей движения точки F. Для этого проведём вертикальную прямую на расстоянии до точки А как указано в задании и сделаем на ней засечки дугой радиусом с центром в соответствующих точках Е. Полученные точки F и будут описывать положения занимаемые ползуном в процессе движения кривошипа AB.

Положения центров масс линейных звеньев примем в их серединах.

Для определения кинематических параметров, построим планы скоростей и ускорений.

При построении плана скоростей воспользуемся следующими соотношениями:

1. Рассматривая группу Ассура, звенья 2-3 запишем:

(2.2)

где скорость точки B;

скорость точки D (равна нулю, так как точка неподвижна);

скорость точки С принадлежащей второму звену относительно точки В как точки, принадлежащей второму звену.

1. Рассматривая группу Ассура, звенья 4-5 запишем:

(2.3)

где скорость точки F;

скорость точки E;

скорость точки F как точки, принадлежащей стойке (нулевое звено);

скорость точки F как точки, принадлежащей пятому звену, относительно точки F как точки принадлежащей стойки.

Исключая в системе (2.2), а в системе (2.3) получим уравнения:

(2.4)

(2.5)

При этом скорость точки Е, входящую в уравнение (2.5), определим, используя подобие:

Откуда определим:

Определим скорость точки В:

Выберем масштаб плана скоростей равным:

Отрезок соответствующий скорости точки B на плане скоростей равен 85 мм.

Построение плана скоростей начнем, выбрав полюс, точка Из полученной точки отложим отрезок в направлении скорости точки В. С конца вектора скорости точки В (из полученной точки b) проведём прямую перпендикулярную звену 2. Дальнейшие построения ведем из полюса, проведём прямую перпендикулярную звену 3, определив её точку пересечения с ранее проведённой прямой из точки b найдём точку c.

Определим отрезок be, как пример:

для 0-го положения:

Для 5-го положения:

Для нахождения скорости точки Е на плане скоростей отложим найденный отрезок be из точки b на плане скоростей вдоль отрезка bc. Из полуженной точки e проведём прямую перпендикулярную звену 4. Дальнейшие построения проводим из полюса, проведя вертикальную прямую, определим её точку пересечения с ранее проведённой прямой из точки e, найдя тем самым точку f. Отрезок и будет соответствовать скорости ползуна 5. Направления найденных скоростей, расставляем согласно правилу сложения векторов, используя при этом уравнения (2.2), (2.3), (2.4), и (2.5).

Для определения скоростей центров масс звеньев механизма, воспользуемся следующими векторными уравнениями:

Для определения скоростей воспользуемся подобием:

Следовательно, отрезки на плане скоростей соответствующие этим скоростям также будут равны:

(2.6)

(2.7)

(2.8)

Например для положений 0 и 5 получим:

Положение 0:

Положение 5:

Для нахождения скорости центра второго звена отложим найденный отрезок из точки b вдоль отрезка bc. Полученную точку соединим с полюсом плана скоростей, найденный отрезок соответствует скорости центра масс второго звена на плане скоростей.

Для нахождения скорости центра масс третьего звена отложим найденный отрезок из полюса вдоль отрезка . Полученную точку соединим с полюсом плана скоростей, найденный отрезок соответствует скорости центра масс пятого звена на плане скоростей.

Для нахождения скорости центра масс четвертого звена отложим найденный отрезок из точки вдоль отрезка *.* Полученную точку соединим с полюсом плана скоростей, найденный отрезок соответствует скорости центра масс четвертого звена на плане скоростей.

Модули скорости и центров масс 2-5 звеньев определим, используя построенный план скоростей:

Положение 0:

Положение 5:

Угловую скорость второго, третьего и четвертого звеньев определим, используя найденные линейные скорости , и соответственно:

Например для положений 0 и 5 получим:

Положение 0:

Положение 5:

Направление угловых скоростей определяем, используя направления найденных линейных скоростей и мысленно перенеся их в точки С, С и F определив при этом направление вращения вокруг точек В, D и E соответственно.

# 2.5 Результаты кинематического исследования

Таблица 2.1 – Результаты кинематического исследования

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Образ | Разм | 0 | 1 | 2 | | 3 | 4 | 5 |  |
|  |  |  |  |  | |  |  |  |
| Отрезки на плане скоростей | | | | | | | | |
|  |  | 85 | 22 | 8 | | 29 | 48 | 68 |
|  |  | 0 | 68 | 89 | | 88 | 74 | 50 |
|  |  | 18 | 64 | 90 | | 90 | 76 | 52 |
|  |  | 10 | 14 | 35 | | 52 | 54 | 38 |
|  |  | 14 | 65 | 87 | | 77 | 53 | 33 |
|  |  | 33 | 74 | 87 | | 86 | 75 | 57 |
|  |  | 0 | 34 | 45 | | 44 | 37 | 25 |
|  |  | 16 | 64 | 87 | | 80 | 59 | 39 |
|  |  |  |  |  | |  |  |  |
| Линейные скорости | | | | | | | | |
|  | м / с | 2,48 | 0,64 | 0,23 | | 0,85 | 1,4 | 1,99 |  |
|  | м / с | 0 | 1,99 | 2,6 | | 2,57 | 2,1600000 | 1,46 |
|  | м / с | 0,53 | 1,87 | 2,630 | | 2,63000 | 2,22 | 1,52 |
|  | м / с | 0,29 | 0,41 | 1,02 | | 1,52 | 1,58 | 1,11 |
|  | м / с | 0,41 | 1,9 | 2,54 | | 2,25 | 1,55 | 0,96 |
|  | м / с | 0,96 | 2,1600 | 2,54 | | 2,51 | 2,19 | 1,66 |
|  | м / с | 0 | 0,99 | 1,310 | | 1,28 | 1,0800 | 0,73 |
|  | м / с | 0,47 | 1,87 | 2,54 | | 2,34000 | 1,72 | 1,14 |
| Угловые скорости | | | | | | | | |
|  |  | 6,71 | 1,74 | 0,63 | 2,29 | | 3,79 | 5,37 |
|  |  | 0 | 9,93 | 12,99 | 12,85 | | 10,8 | 7,3 |
|  |  | 0,56 | 0,79 | 1,97 | 2,92 | | 3,03 | 2,13 |
|  | | | | | | | | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Образ. | Разм. | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Отрезки на плане скоростей | | | | | | | | |
|  |  | 83 | 85 | 82 | 55 | 8 | 104 | 155 |
|  |  | 19 | 0 | 13 | 48 | 89 | 129 | 108 |
|  |  | 26 | 18 | 21 | 45 | 90 | 147 | 13 |
|  |  | 12 | 4 | 16 | 45 | 72 | 71 | 11 |
|  |  | 22 | 18 | 14 | 6 | 56 | 137 | 139 |
|  |  | 38 | 33 | 36 | 59 | 87 | 102 | 65 |
|  |  | 10 | 0 | 7 | 24 | 45 | 65 | 54 |
|  |  | 24 | 18 | 16 | 23 | 66 | 138 | 138 |
| Линейные скорости | | | | | | | | |
|  | м / с | 2,42 | 2,48 | 2,390 | 1,61 | 0,23 | 3,04 | 4,530 |
|  | м / с | 0,55 | 0 | 0,38 | 1,4 | 2,6 | 3,77 | 3,15 |
|  | м / с | 0,76 | 0,53 | 0,61 | 1,310 | 2,630 | 4,29 | 4 |
|  | м / с | 0,35 | 0,12 | 0,47 | 1,310 | 2,1 | 2,07 | 0,32 |
|  | м / с | 0,64 | 0,53 | 0,41 | 0,18 | 1,64 | 4 | 4,06 |
|  | м / с | 1,11 | 0,96 | 1,05 | 1,72 | 2,54 | 2,98 | 1,9 |
|  | м / с | 0,29 | 0 | 0,2 | 0,7 | 1,310 | 1,9 | 1,58 |
|  | м / с | 0,7 | 0,53 | 0,47 | 0,67 | 1,93 | 4,03 | 4,03 |
| Угловые скорости | | | | | | | | |
|  |  | 6,55 | 6,71 | 6,47 | 4,34 | 0,63 | 8,21 | 12,23 |
|  |  | 2,77 | 0 | 1,9 | 7,01 | 12,99 | 18,83 | 15,77 |
|  |  | 0,67 | 0,22 | 0,9 | 2,53 | 4,04 | 3,99 | 0,62 |
|  | | | | | | | | |

# 2.6 Построение плана ускорений

Для построения плана ускорений воспользуемся следующими векторными соотношениями:

(2.9)

где ускорение точки С;

ускорение точки В;

нормальное ускорение точки С как точки, принадлежащей второму звену вокруг точки В;

тангенциальное ускорение точки С как точки принадлежащей второму звену вокруг точки В;

нормальное ускорение точки С как точки принадлежащей второму звену вокруг точки D;

тангенциальное ускорение точки С как точки принадлежащей второму звену вокруг точки В;

1. Рассмотрим группу Ассура 4-5:

(2.10)

где ускорение точки Е;

нормальное ускорение точки F как точки, принадлежащей четвертому звено вокруг точки Е;

тангенсальное ускорение точки F как точки, принадлежащей четвертому звену вокруг точки E;

ускорение точки F как точки, принадлежащей стойке, равно нулю, так как она неподвижна;

ускорение движения точки F как точки, принадлежащей пятому звену, относительно точки F, принадлежащей стойке.

Исключая в системе (2.9) и (2.10) ускорения и получим уравнение:

(2.11)

Используя уравнение (2.11) построим план ускорений, при этом необходимо учесть, что полное ускорение определим, используя выражение:

.

Для определения, воспользуемся соотношением, которое следует из подобия:

.

Тогда длина отрезка соответствующего ускорению на плане ускорений будет равна:

.

Следовательно, построив часть плана ускорений по уравнению (2.11) определим ускорение , что даст возможность использовать второе уравнение системы (2.11) для построения оставшейся части плана ускорений.

.

Определим известные ускорения для исследуемых положений 0 и 5:

Положение 0:

,

,

,

Выберем масштабный коэффициент плана ускорений равным:

*.*

Тогда отрезки на плане ускорений соответствующие известным ускорениям будут равны:

Положение 0:

Положение 5:

Для построения ускорений выберем полюс . Отложим отрезок в направлении ускорения , из полученной b точки отложим отрезок в направлении ускорения (в направлении от точки С к точке B параллельно BC на совмещенном плане механизма для каждого положения). Из полученной точки проведём прямую перпендикулярно BC (вдоль этой прямой направлено тангенцальное ускорение ). Дальнейшие построения проводим из полюса, отложим отрезок в направлении ускорения (в направлении от точки С к точке D параллельно DC на совмещенном плане механизма для каждого положения). Из полученной точки проведём прямую перпендикулярно DC (вдоль этой прямой направлено тангенциальное ускорение ). Определив точку пересечения с ранее проведённой прямой, найдём отрезок , который соответствует ускорению точки С на плане ускорений.

Используя построенную часть плана ускорений определим ускорение точки Е, с помощью выражения (2.12). Для положений 0 и 5 получим:

Положение 0:

*,*

Положение 5:

*.*

Для нахождения ускорений точки Е на плане ускорений отложим найденный отрезок be из точки b на плане ускорений вдоль отрезка bc. Найденную точка е соединим с полюсом плана ускорений, тогда отрезок будет соответствовать ускорению точки Е на плане ускорений.

Дальнейшие построения проводим из точки Е, отложив отрезок параллельно отрезку EF в направлении ускорении . Из полученной точки проведём прямую перпендикулярно EF (вдоль этой прямой направлено ускорение ). Далее из полюса проведём вертикальную прямую (параллельно направляющей движения ползуна), определив точку пересечения с ранее проведённой прямой найдём точку . Найденный отрезок соответствует полному ускорению точки F.

Для определения ускорений центров масс звеньев механизма, воспользуемся уравнениями:

*;*

*;*

*;*

Для определения отрезков на плане ускорений соответствующих ускорениями , и воспользуемся подобием:

*,*

*.*

Воспользовавшись построенным планом ускорений, получим:

,

,

.

Для положений 0 и 5 получим следующие значения:

Положение 0:

*,*

*,*

*;*

Положение 5:

*,*

*,*

*.*

Для нахождения ускорения центра масс второго звена отложим найденный отрезок из точки b вдоль отрезка bc. Полученную точку соединим с полюсом плана ускорений, найденный отрезок соответствует ускорению центра масс второго звена на плане ускорений.

Для нахождения ускорения центра масс третьего звена отложим найденный отрезок из полюса вдоль отрезка . Полученную точку соединим с полюсом плана ускорений, найденный отрезок соответствует ускорению центра масс третьего звена на плане ускорений.

Для нахождения ускорения центра масс четвертого звена отложим найденный отрезок из точки вдоль отрезка . Полученную точку соединим с полюсом плана ускорений, найденный отрезок соответствует ускорению центра масс четвертого звена на плане ускорений.

Определим значения ускорений центров масс, используя построенные планы ускорений, например для положений 0 и 5, получим:

Положение 0:

*,*

*,*

*,*

*.*

Положение 5:

*,*

*,*

*,*

,

Определим угловые ускорения звеньев механизма. Используя построенный план ускорений для положений 0 и 5, получим:

Положение 0:

,

,

;

Положение 5:

,

,

*.*

Направление угловых ускорений определяем, используя направления найденных линейных ускорений , и мысленно перенеся из в точки С, С и F, определив при этом направление вращения вокруг точек B, D, и E соответственно. Для остальных положений результаты вычислений представлены в таблице 2.2:

Таблица 2.2 – Результаты вычислений ускорений

Результаты вычислений ускорений, положение 0

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  величин | Ускорения характерных точек | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |
| ( | 0,725 | | | | | | | | | | | |
| Отрезок, (мм) | 85 | 23 | 160 | | 0 | | 193 | 193 | 225 | 0 | 6 | 224 |
| Значения, | 61,6 | 16,66 | 116 | | 0 | | 139,92 | 139,92 | 163,13 | 0,16 | 4,35 | 162,4 |
|  | Ускорения центров масс | | | | | | | Угловые ускорения | | | | |
|  | - |  | |  |  | |  |  |  |  | - | - |
| Отрезок, (мм) | - | 139 | | 97 | 223 | | 224 | - | - | - | - | - |
| Значения, | - | 100,78 | | 70,33 | 161,67 | | 162,4 | 432,43 | 965 | 11,54 | - | - |

Результаты вычислений ускорений, положение 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  величин | Ускорения характерных точек | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |
| ( | 0,725 | | | | | | | | | | | |
| Отрезок, (мм) | 85 | 2 | 80 | | 27 | | 73 | 78 | 87 | 0 | 29 | 86 |
| Значения, | 61,6 | 1,12 | 58 | | 19,720 | | 52,93 | 56,55 | 63,08 | 0,32 | 21,030 | 62,35 |
|  | Ускорения центров масс | | | | | | | Угловые ускорения | | | | |
|  | - |  | |  |  | |  |  |  |  | - | - |
| Отрезок, (мм) | - | 71 | | 39 | 90 | | 86 | - | - | - | - | - |
| Значения, | - | 51,48 | | 28,28 | 65,25 | | 62,35 | 216,22 | 365 | 55,77 | - | - |

Результаты вычислений ускорений, положение 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  величин | Ускорения характерных точек | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |
| ( | 0,725 | | | | | | | | | | | |
| Отрезок, (мм) | 85 | 0 | 160 | | 47 | | 15 | 49 | 43 | 3 | 43 | 6 |
| Значения, | 61,6 | 0,150 | 31,9 | | 33,75 | | 10,88 | 35,53 | 31,18 | 2,02 | 31,18 | 4,35 |
|  | Ускорения центров масс | | | | | | | Угловые ускорения | | | | |
|  | - |  | |  |  | |  |  |  |  | - | - |
| Отрезок, (мм) | - | 62 | | 25 | 22 | | 6 | - | - | - | - | - |
| Значения, | - | 44,95 | | 18,130 | 15,95 | | 4,35 | 118,92 | 75 | 11,54 | - | - |

Результаты вычислений ускорений, положение 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  величин | Ускорения характерных точек | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |
| ( | 0,725 | | | | | | | | | | | |
| Отрезок, (мм) | 85 | 3 | 37 | | 46 | | 15 | 48 | 40 | 6 | 21 | 38 |
| Значения, | 61,6 | 1,94 | 26,83 | | 33,02 | | 10,88 | 34,8 | 29 | 4,430 | 15,23 | 27,55 |
|  | Ускорения центров масс | | | | | | | Угловые ускорения | | | | |
|  | - |  | |  |  | |  |  |  |  | - | - |
| Отрезок, (мм) | - | 63 | | 24 | 42 | | 38 | - | - | - | - | - |
| Значения, | - | 45,68 | | 17,4 | 30,45 | | 27,55 | 100 | 75 | 40,38 | - | - |

Результаты вычислений ускорений, положение 4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  величин | Ускорения характерных точек | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |
| ( | 0,725 | | | | | | | | | | | |
| Отрезок, (мм) | 85 | 7 | 39 | | 32 | | 38 | 49 | 49 | 7 | 14 | 47 |
| Значения, | 61,6 | 5,31 | 28,28 | | 23,33 | | 27,55 | 35,53 | 35,53 | 4,77 | 10,150 | 34,07 |
|  | Ускорения центров масс | | | | | | | Угловые ускорения | | | | |
|  | - |  | |  |  | |  |  |  |  | - | - |
| Отрезок, (мм) | - | 63 | | 25 | 51 | | 47 | - | - | - | - | - |
| Значения, | - | 45,68 | | 18,130 | 36,98 | | 34,07 | 105,41 | 190 | 26,92 | - | - |

Результаты вычислений ускорений, положение 5

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  величин | Ускорения характерных точек | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |
| ( | 0,725 | | | | | | | | | | | |
| Отрезок, (мм) | 85 | 15 | 36 | | 15 | | 54 | 56 | 51 | 3 | 43 | 29 |
| Значения, | 61,6 | 10,67 | 26 | | 10,66 | | 39,150 | 40,6 | 36,98 | 2,360 | 31,18 | 21,030 |
|  | Ускорения центров масс | | | | | | | Угловые ускорения | | | | |
|  | - |  | |  |  | |  |  |  |  | - | - |
| Отрезок, (мм) | - | 66 | | 28 | 37 | | 29 | - | - | - | - | - |
| Значения, | - | 47,85 | | 20,3 | 26,83 | | 21,030 | 97,3 | 270 | 82,69 | - | - |

Результаты вычислений ускорений, положение 6

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  величин | Ускорения характерных точек | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |
| ( | 0,725 | | | | | | | | | | | |
| Отрезок, (мм) | 85 | 22 | 17 | | 2 | | 61 | 61 | 56 | 0 | 54 | 13 |
| Значения, | 61,6 | 15,87 | 12,33 | | 1,53 | | 44,23 | 44,23 | 40,6 | 0,23 | 39,150 | 9,43 |
|  | Ускорения центров масс | | | | | | | Угловые ускорения | | | | |
|  | - |  | |  |  | |  |  |  |  | - | - |
| Отрезок, (мм) | - | 70 | | 31 | 29 | | 13 | - | - | - | - | - |
| Значения, | - | 50,75 | | 22,48 | 21,030 | | 9,42 | 45,95 | 305 | 103,85 | - | - |

Результаты вычислений, положение 7

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  величин | Ускорения характерных точек | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |
| ( | 0,725 | | | | | | | | | | | |
| Отрезок, (мм) | 85 | 23 | 5 | | 0 | | 62 | 562 | 57 | 0 | 54 | 15 |
| Значения, | 61,6 | 16,66 | 3,63 | | 0 | | 44,95 | 44,95 | 41,330 | 0,03 | 39,150 | 10,88 |
|  | Ускорения центров масс | | | | | | | Угловые ускорения | | | | |
|  | - |  | |  |  | |  |  |  |  | - | - |
| Отрезок, (мм) | - | 71 | | 301 | 30 | | 15 | - | - | - | - | - |
| Значения, | - | 51,48 | | 22,48 | 21,75 | | 10,88 | 13,51 | 310 | 103,85 | - | - |

Результат вычислений ускорений, положение 8

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  величин | Ускорения характерных точек | | | | | | | | | | |
|  |  |  | |  |  |  |  |  |  |  |
| ( | 0,725 | | | | | | | | | | |
| Отрезок, (мм) | 85 | 21 | 23 | 1 | | 63 | 63 | 60 | 1 | 54 | 22 |
| Значения, | 61,6 | 15,49 | 16,68 | 0,72 | | 45,68 | 45,68 | 43,5 | 0,42 | 39,150 | 15,95 |
|  | Ускорения центров масс | | | | | | Угловые ускорения | | | | |
|  | - |  |  |  | |  |  |  |  | - | - |
| Отрезок, (мм) | - | 71 | 32 | 34 | | 22 | - | - | - | - | - |
| Значения, | - | 51,48 | 23,2 | 24,65 | | 15,95 | 432,43 | 965 | 11,54 | - | - |

Результат вычислений ускорений, положение 9

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  величин | Ускорения характерных точек | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |
| ( | 0,725 | | | | | | | | | | | |
| Отрезок, (мм) | 85 | 10 | 82 | | 14 | | 71 | 72 | 81 | 5 | 56 | 61 |
| Значения, | 61,6 | 6,97 | 59,45 | | 9,83 | | 51,78 | 52,2 | 58,73 | 3,33 | 40,6 | 44,23 |
|  | Ускорения центров масс | | | | | | | Угловые ускорения | | | | |
|  | - |  | |  |  | |  |  |  |  | - | - |
| Отрезок, (мм) | - | 66 | | 36 | 69 | | 61 | - | - | - | - | - |
| Значения, | - | 47,85 | | 26,1 | 50,03 | | 44,23 | 221,62 | 355 | 107,69 | - | - |

Результат вычислений ускорений, положение 10

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  величин | Ускорения характерных точек | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |
| ( | 0,725 | | | | | | | | | | | |
| Отрезок, (мм) | 85 | 0 | 160 | | 47 | | 84 | 97 | 128 | 12 | 41 | 135 |
| Значения, | 61,6 | 0,150 | 116 | | 33,75 | | 60,9 | 70,33 | 92,8 | 8,49 | 29,73 | 97,88 |
|  | Ускорения центров масс | | | | | | | Угловые ускорения | | | | |
|  | - |  | |  |  | |  |  |  |  | - | - |
| Отрезок, (мм) | - | 49 | | 49 | 143 | | 135 | - | - | - | - | - |
| Значения, | - | 35,53 | | 35,53 | 103,68 | | 97,88 | 432,43 | 420 | 78,85 | - | - |

Результат вычислений ускорений, положение 11

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  величин | Ускорения характерных точек | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |
| ( | 0,725 | | | | | | | | | | | |
| Отрезок, (мм) | 85 | 35 | 186 | | 98 | | 49 | 110 | 150 | 11 | 64 | 139 |
| Значения, | 61,6 | 24,94 | 134,85 | | 70,910 | | 35,53 | 79,75 | 108,75 | 8,28 | 46,4 | 100,78 |
|  | Ускорения центров масс | | | | | | | Угловые ускорения | | | | |
|  | - |  | |  |  | |  |  |  |  | - | - |
| Отрезок, (мм) | - | 40 | | 55 | 144 | | 139 | - | - | - | - | - |
| Значения, | - | 29 | | 39,88 | 104,4 | | 100,78 | 502,7 | 245 | 12,08 | - | - |

Результат вычислений ускорений, положение 12

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование  величин | Ускорения характерных точек | | | | | | | | | | | |
|  |  |  | | |  |  |  |  |  |  |  |
| ( | 0,725 | | | | | | | | | | | |
| Отрезок, (мм) | 85 | 76 | 38 | | 69 | | 154 | 169 | 187 | 0 | 113 | 169 |
| Значения, | 61,6 | 55,34 | 27,55 | | 49,74 | | 111,65 | 122,53 | 135,57 | 0,2 | 81,93 | 122,53 |
|  | Ускорения центров масс | | | | | | | Угловые ускорения | | | | |
|  | - |  | |  |  | |  |  |  |  | - | - |
| Отрезок, (мм) | - | 136 | | 85 | 188 | | 169 | - | - | - | - | - |
| Значения, | - | 98,6 | | 61,63 | 136,3 | | 122,53 | 102,7 | 770 | 217,31 | - | - |

# 2.7 Определение активных сил, сил и моментов сил инерции звеньев механизма

Определение силы тяжести звеньев механизма:

При определении сил инерции, учитываем что вращающееся первое звено уравновешено и его центра тяжести расположен на оси вращения. Используя построенный план ускорений, определим силы и моменты сил инерции, действующие на звенья механизма в процессе движения:

Положение 0:

Положение 5:

Направления сил и моментов сил инерции определим с помощью плана ускорений (силы инерции противоположно направлены ускорениям центров масс звеньев механизма, а моменты сил инерции противоположно направлены угловым ускорениям звеньев механизма), и перенеся их на схему механизма. Разобьем его на части согласно проведенному структурному анализу.

# 2.8 Силовой расчет группы Ассура (4-5)

Рассмотрим вторую в порядке присоединения группу Ассуру 4-5. Составим уравнение суммы моментов относительно точки F.

Положение 0:

*.*

Откуда определим:

Рассмотрим группу Ассура 4-5, составим уравнение суммы сил:

(2.14)

В уравнение (2.14) неизвестны модули сил и , их можно определить, построив план сил.

Масштабный коэффициент плана сил равен:

Тогда длины отрезков соответствующих известным силам на плане сил будут равны:

*,*

*,*

*,*

*,*

*,*

*.*

Из плана сил определим:

*,*

*,*

Рассмотрим группу звеньев 5-0 и составим уравнение суммы сил:

(2.15)

В уравнении (2.15) неизвестна по модулю и направлению сила . Так как, в уравнении (2.15) две неизвестные, то его можно решить, построив план сил. Используя построенный план сил по уравнению (2.14) определим силу.

*.*

Положение 5:

*.*

Определим :

*.* (2.16)

Рассмотрим группу Ассура 4-5, составим уравнение суммы сил:

*.* (2.17)

В уравнении (2.17) неизвестны силы и , их можно определить, построив план сил.

Тогда длины отрезков соответствующих известным силам на плане сил будут равны:

*,*

*,*

*,*

*,*

*,*

*.*

Из плана сил определим:

*,*

*,*

Рассмотрим группу звеньев 5-0 и составим уравнение суммы сил:

(2.15)

В уравнении (2.18) неизвестна по модулю и направлению сила . Так как, в уравнении (2.18) две неизвестные, то его можно решить, построив план сил. Используя построенный план сил по уравнению (2.17) определим силу :

*.*

# 2.9 Силовой расчет группы звеньев 2-3

Рассмотрим первую в порядке присоединения группу Ассура 2-3. При этом учитывая, что . Запишем уравнение суммы моментов относительно точки С для звеньев 2 и 3:

Для звена 3:

*.*

Откуда определим :

, (2.19)

Для звена 2:

,

Откуда определим :

, (2.20)

.

Запишем уравнение суммы сил для группы Ассуры 2-3:

. (2.21)

В уравнении (2.21) неизвестны по модулю силы и , построим план сил, откуда и определим и .

Длину отрезка для реакции примем равно мм, тогда масштабный коэффициент плана сил будет равным:

*.*

Тогда отрезки соответствующих известных сил будут равны:

*,*

*,*

*,*

*,*

*,*

*,*

*.*

Построив план сил, определяем:

*,*

*,*

*,*

*.*

Рассмотрим звено 2 группы Ассуры 2-3, записав уравнение суммы сил:

*.* (2.22)

В уравнении (2.22) неизвестен модуль и направление силы . Определим, построив план сил.

*.*

Положение 5:

Для звена 3 получим сумму моментов:

.

Откуда определим :

, (2.23)

,

Для звена 2 получим сумму моментов:

Откуда определяем :

*,*

Запишем уравнение суммы сил для группы Ассура 2-3:

. (2.25)

В уравнении (2.25) неизвестны по модулю силы и . Определим эти силы, построив план сил.

Длину отрезка для реакции примем равной , тогда масштабный коэффициент плана сил будет равным:

Тогда отрезки соответствующие известным силам будут равны:

*,*

*,*

*,*

*,*

*,*

*,*

*.*

Построив план сил, определяем:

*,*

*,*

*,*

*.*

Рассмотрим звено 2 группы Ассуры 2-3, записав уравнение суммы сил:

*.* (2.26)

В уравнении (2.22) неизвестен модуль и направление силы . Определим, построив план сил.

*.*

# 2.10 Силовой расчёт ведущего первичного механизма

Рассмотрим ведущее звено. Составим уравнение суммы моментов относительно точки А:

Положение 0:

. (2.27)

Выражаем уравновешивающий момент, подставляя значения, учитывая, что по модулю :

.

Запишем уравнение суммы сил:

. (2.28)

В уравнении (2.28) неизвестна по модулю и направлению сила . Определим эту силу, построив план сил.

Длину отрезка для реакции примем равной мм, тогда масштабный коэффициент плана сил будет равным:

*.*

Тогда отрезки соответствующие известным силам будут равны:

*,*

*.*

Построив план сил, определяем:

*.*

Положение 5:

. (2.29)

Определим уравновешивающий момент, подставляя известные величины:

.

Запишем уравнение суммы сил:

. (2.30)

В уравнении (2.30) неизвестна по модулю и направлению сила . Определим эту силу, построив план сил.

Длину отрезка для реакции примем равной мм, тогда масштабный коэффициент плана сил будет равным:

*.*

Тогда отрезки соответствующие известным силам будут равны:

*,*

(мм).

Построив план сил, определим :

*.*

# 2.11 Определение уравновешивающей силу с помощью рычага Жуковского

Выберем масштабный коэффициент для построения плана сил:

,

Положение 0:

Соответствующие моменты сил инерции разложим на пары сил. Для момента второго звена 2, для момента для звена 3, для момента сил инерции звена 4. Определим значения сил для каждого из звеньев:

*,*

*,*

*.*

Определим сумму моментов сил на плане скоростей относительно полюса, получим:

*.*

Определим уравновешивающую силу :

*.*Уравновешивающий момент будет равен:

*.*

Положение 5:

Соответствующие моменты сил инерции разложим на пары сил. Для момента второго звена 2, для момента для звена 3, для момента сил инерции звена 4. Определим значения сил для каждого из звеньев:

*,*

*,*

*.*

Определим сумму моментов сил на плане скоростей относительно полюса, получим:

*.*

Определим уравновешивающую силу :

.

Уравновешивающий момент будет равен:

*.*

# 2.12 Определение погрешности силового расчета

Определим погрешность силового расчёта, выполнив сравнение уравновешивающего момента , найденного двумя способами:

Положение 0:

*.*

Положение 5:

.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артоболевский И.И. ТММ / И.И. Артоболевский 1975. ТММ. Курсовое проектирование. Учебное пособие – М. ИНФРА-М. (БФ МАДИ).
2. Чмиль В.П. ТММ: учебно – методическое пособие / В.П. Чмиль – 3-е изд. стер – СПб: Лань.
3. Гузев Н.В. Методические указания к курсовому проектированию по ТММ: учебное пособие / Н.В. Гузев, А.Н. Авуза, В.Т. Гришакин.
4. Курсовое проектирование по ТММ. Методические указания / Карелина М. Ю. Черепнина Т.Ю. и др. МАДИ (ГТУ) – М. 2016 – 40 с.