Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

"Московский Государственный открытый университет"

«КУРСОВОЙ ПРОЕКТ»

по предмету: "Теория механизмов и машин"

**Динамический синтез и анализ рычажного механизма**

Выполнил: Ленда А.А.

Проверил: преподаватель

Гуревич Юрий Яковлевич

## г. Ноябрьск

2008 год

Содержание

1. Синтез системы управления механизмами машины - автомата по заданной тактограмме

1.1 Построение тактограммы

1.2 Проверка реализуемости тактограммы

1.3 Таблицу включений

1.4 Формулы включений

1.5 Схема управления на пневматических элементах

2. Динамический синтез рычажного механизма по коэффициенту неравномерности движения

2.1 Определение цикла работы механизма

2.2 Построение положений звеньев механизма для 12 положений кривошипа

2.3 Построение индикаторной диаграммы

2.4 Определение сил давления газа для 12 положений каждого из поршней

2.5 Построение планов скоростей для каждого из 12 положений механизма

2.6 Вычисление приведённого момента инерции механизма

2.7 Вычисление приведённого момента движущих сил

2.8 Построение диаграммы работ движущих сил

2.9 Построение диаграммы работ сил сопротивления

2.10 Построение диаграммы приведённого момента сил сопротивления

2.11 Построение диаграммы кинетической энергии

2.12 Построение диаграммы “энергия – масса»

2.13 Определение момента инерции маховика

3. Динамический анализ рычажного механизма

3.1 Построение планов скоростей и ускорений в заданном положении

3.2 Определение реакций в кинематических парах

3.3 Определение силового момента приложенного к начальному звену при силовом расчёте

3.4 Определение уравновешивающего момента с помощью рычага Жуковского

3.5 Сравним полученные величины уравновешивающего момента, полученные разными способами

1. Синтез системы управления механизмами машины - автомата по заданной тактограмме

1.1 Построение тактограммы

Цикл работы содержит шесть тактов, в каждом совершается одностороннее движение одного механизма. Первое указание номера механизма в тактограмме означает, что в соответствующем такте происходит прямой ход механизма; вторичное указание номера - обратный ход.

Наклонные линии на тактограмме отвечают тактам движения, а горизонтальные - тактам выстоя. В первом такте имеет место прямой ход поршня М1, во втором-прямой ход поршня М3, в третьем – прямой ход поршня М2. В четвёртом, пятом и шестом тактах совершается обратный ход поршней М2, М1 и М3 соответственно.

Каждый механизм имеет два конечных выключателя, на которые нажимает шток поршня в крайних положениях. В нажатом положении сигнал от конечного выключателя равен 1, в ненажатом – 0. На тактограмме показываются значения сигнала в начале каждого такта. Сигналы конечных выключателей управляемого механизма не входят в число управляющих и на тактограмме обведены рамками.

Тактограмма 132213

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование | сигналы | Такты движения | Вессигнала |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Механизмы | М1 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| М2 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| М3 |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Память | Z | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |  |

1.2 Проверим реализуемость тактограммы

Тактограмма считается реализуемой, если все комбинации управляющих входных сигналов в начале каждого такта будут различными.

В данной тактограмме совпадают наборы управляющих сигналов в начале третьего и четвёртого тактов: и. Следовательно, тактограмма нереализуема, так как одна и та же комбинация сигналов должна вызывать различные движения механизмов.

Для того чтобы наборы управляющих сигналов не совпадали, вводится дополнительный управляющий сигнал от устройства называемого памятью. При составлении программы переключения памяти следует исходить из того, что внутри цикла память нельзя два раза включать и два раза выключать.

Включаем память в начале первого такта и выключаем в начале четвёртого. Совпадающих наборов управляющих сигналов нет, т. е. такты включения и выключения памяти выбраны правильно.

1.3 Составляем таблицу включений

Верхняя часть таблицы включений содержит значения сигналов от конечных выключателей и от памяти. При переходе от одного логического такта к другому меняется значение только одного сигнала. Этот сигнал называется тактирующим. В соответствии с правилами составления таблицы включений такты 1 и 4, в которых включается и выключается память, разбиваем на два логических такта: 1а, 1б и 4а, 4б.

В такте 1а по сравнению с шестым новым сигналом является сигнал , а в такте 1б – z=1, во 2 - , в 3 - , в 4а - , в 4б – z=0, в 5 - , в 6 - .

В нижней части таблицы включений отмечены такты, в которых должны подаваться сигналы на включение и выключение памяти ( и ), сигналы на пуск поршней вперёд () и назад (). Эти сигналы называются выходными. Для каждой выходной функции имеется только одно рабочее состояние, при котором эта функция должна быть равна единице.

После простановки единиц в рабочих состояниях делаем прочерки в безразличных состояниях, следующих за рабочим, при которых может повторяться (или не повторяться) сигнал на выполнение действия, соответствующего данной функции. Все остальные состояния являются запрещёнными и для них выходные функции должны быть равны нулю.

Для функции ставим единицу в такте 1а, так как в этом такте должна включаться память. В тактах 1б, 2 и 3 делаем прочерки, так как в этих тактах элемент памяти уже включён и остаётся включенным как при повторении сигнала на включение (), так и при отсутствии его (). Во всех остальных тактах ставим нули, так как в этих тактах включать элемент памяти нельзя (в такте 4а память выключается и должна оставаться выключенной в тактах 4б, 5 и 6). Аналогично заполняем таблицу включений для других выходных сигналов.

Таблица включений

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование | Сигн. | Состояния |
| 1а | 1б | 2 | 3 | 4а | 4б | 5 | 6 |
| Входы | М1 |  | 1 | 1 | 0\* | 0 | 0 | 0 | 0 | 1\* |
| М2 |  | 1 | 1 | 1 | 1 | 0\* | 0 | 1\* | 1 |
| М3 |  | 1\* | 1 | 1 | 0\* | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Память (П) | z | 0 | 1\* | 1 | 1 | 1 | 0\* | 0 | 0 |
| Выходы | П | Вкл. |  | 1 | - | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Выкл. |  | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | - | - | - |
| М1 | Вперёд |  | 0 | 1 | - | - | - | - | 0 | 0 |
| Назад |  | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | - |
| М2 | Вперёд |  | 0 | 0 | 0 | 1 | - | 0 | 0 | 0 |
| Назад |  | - | - | - | 0 | 0 | 1 | - | - |
| М3 | Вперёд |  | 0 | 0 | 1 | - | - | - | - | 0 |
| Назад |  | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |

1.4 Составляем формулы включений и произведём их упрощение

Для составления формул включения заполняется таблица, в которой указываются значения управляющих сигналов: в одном столбце – для рабочего состояния данной функции, в другом – для запрещённых. Для машины-автомата данного типа к управляющим сигналам не относятся входные сигналы от того исполнительного органа или элемента памяти, для которого составляется формула включения.

Значения сигналов выписываются из таблицы включений. Для рабочего хода – из тех тактов, в которых соответствующая функция равна единице, а для запрещённых – нулю. В рабочем наборе управляющих сигналов звёздочкой отмечается тактирующий сигнал, в запрещённых состояниях тактирующий сигнал не выделяется.

Так для функции значения управляющих сигналов для рабочего состояния () выписываем из такта 2. Наборы для запрещающих состояний () выписываем из тактов 1а, 1б и 6, при этом совпадающие в 1а и 6 тактах наборы выписываем только один раз. По значениям управляющих сигналов в рабочем состоянии () составляем формулу включения в виде произведения управляющих сигналов. Так как функция в рабочем состоянии должна быть равна единице, то и все сомножители должны быть равны единице, поэтому сигналам с нулевым значениям соответствует инверсное значение аргумента:

Упрощение исходной формулы состоит в том, что из исходной формулы исключаются части сигналов, её образующих, кроме тактирующего. В упрощённый вариант формулы включения обязательно должен входить тактирующий сигнал. Для функции в упрощённой формуле можно оставить только тактирующий сигнал . Потому что его значение в рабочем состоянии не встречается ни в одном из наборов запрещённых состояний, и поэтому, каковы бы ни были значения остальных сигналов, ни один набор в рабочем состоянии не совпадает с набором в запрещённых состояниях.

В формуле для функции в случае исключения сигнала z оставшийся в рабочем состоянии набор встречается в запрещённом состоянии. Сигнал может быть исключён, так как оставшийся в рабочем состоянии набор не встречается в запрещённых состояниях. Упрощённая формула включения будет иметь вид . Аналогично составляем оставшиеся формулы включения и заполняем таблицу.

Формулы включений

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Входы | Состояния | Формулы включения |
| Раб. | Запрещён. | Исходная | Упрощён. |
| П | Вкл. |  |  |  |  |  |
| Выкл. |  |  |  |  |  |
| М1 | Вперёд | Z |  |  |  |  |
| Назад | z |  |  |  |  |
| М2 | Вперёд | z |  |  |  |  |
| Назад | z |  |  |  |  |
| М3 | Вперёд | z |  |  |  |  |
| Назад | z |  |  |  |  |

1.5 Построим схему управления на пневматических элементах

Построение схемы путевого управления на пневматических элементах начинаем со схематического изображения пневмоцилиндров, причем поршни всех трёх механизмов показываем в крайних левых положениях, которые соответствуют исходным (нижним) положениям на тактограмме. При этом штоки поршней нажимают на конечные выключатели . Каждый из этих выключателей представляет собой двухпозиционный трехлинейный распределитель, условное изображение которого состоит из двух квадратов, соответствующих двум возможным положениям (позициям) его подвижной части и трех линий (трубопроводов). Первая линия соединена с источником сжатого воздуха (напорная линия), вторая с - атмосферой, третья линия дает сигнал в управляющее устройство. Каналы (проходы) изображаем линиями со стрелками, показывающими направление потоков. Закрытый канал имеет поперечную черту. В нажатом положении у конечного выключателя атмосфера соединена с закрытым каналом, а сжатый воздух по открытому каналу поступает в управляющее устройство, т. е. дает сигнал (например, = 1).

В тех же условных обозначениях вычерчиваем изображения двухпозиционных четырёхлинейных распределителей для каждого из пневмоцилиндров. Первая линия соединена с левым рабочим объемом цилиндра, вторая - с правым рабочим объемом цилиндра, третья - с атмосферой и четвертая - с источником сжатого воздуха, Так как все поршни занимают крайние левые положения, то каждый распределитель показываем в такой позиции, при которой сжатый воздух поступает в правый рабочий объем цилиндра. В другой позиции сжатый воздух поступает в левый рабочий объем цилиндра, т. е. перемещение подвижных частей распределителя справа налево вызывает прямой ход поршня. Это перемещение происходит под действием сжатого воздуха при поступлении сигнала .

Обратное перемещение происходит при поступлении сигнала , подаваемого с противоположной стороны. Указанный распределитель называется также двусторонним.

После вычерчивания распределителей пунктиром намечаем прямоугольник, в котором располагаем блок управления. К верхней стороне прямоугольника подводим линии от конечных выключателей в следующем порядке: . Это будут входы блока управления. К нижней стороне прямоугольника подводим линии от распределителей:. Это будут выходы блока управления. Так как заданная тактограмма реализуема только при наличии памяти, то с левой стороны блока управления показываем логический элемент памяти в виде двустороннего четырёхлинейного распределителя, т. е. такого же распределителя, какой был применён для управления перемещениями поршней. Этот распределитель показываем в положении соответствующему началу первого такта, т. е. при включенной памяти. Две верхние линии от элемента памяти идут на вход блока управления и дают два дополнительных входа z и . В указанном положении подаётся сигнал z =1, т. е. в этом положении память включена.

Сигналы и идут от выходов блока управления, т. е. к ранее показанным выходам блока управления добавляются еще два.

Соединяем входы и выходы блока управления так, чтобы их соединения соответствовали формулам включения. Выходы прямо соединяем с входами; выход соединяем через логический оператор умножения с входами ,выход - с входами .

В качестве операторов умножения используем реле УСЭППА (универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики).

2. Динамический синтез рычажного механизма по коэффициенту неравномерности движения

Параметры механизма

Размеры звеньев рычажного механизма

Частота вращения коленчатого вала и кулачка

Массы звеньев

Моменты инерции звеньев

Максимальное давление в цилиндре

Диаметр цилиндра

Коэффициент неравномерности вращения коленчатого вала

Положение кривошипа при силовом расчёте

Таблица 2.1. Циклограмма двигателя.

|  |  |
| --- | --- |
| Цилиндры | Обороты коленчатого вала |
| первый | Второй |
| ЛевыйПравый | ВсасываниеРасширение | СжатиеВыпуск | РасширениеВсасывание | ВыпускСжатие |

Таблица 2.2. Зависимость давления газа в цилиндре двигателя от перемещения поршня (индикаторная диаграмма).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Перемещение поршня (в долях Н),s/H | 0 | 0.025 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 |
| Давление газа,  | Всасывание | 0.01 | 0 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | -0.01 |
| Сжатие | 0.29 | 0.23 | 0.20 | 0.16 | 0.10 | 0.06 | 0.04 | 0.03 | 0.014 | 0.007 | 0 | 0.005 | 0.01 |
| Расширение | 0.29 | 1.0 | 0.9 | 0.7 | 0.5 | 0.36 | 0.29 | 0.24 | 0.19 | 0.17 | 0.14 | 0.12 | 0.05 |
| выпуск | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.05 |

2.1 Определение цикла работы механизма

Так как в предложенном механизме значение сил и скоростей повторяются через один оборот то, следовательно, цикл работы соответствует 1 обороту.

2.2 Построение положений звеньев механизма для 12 положений кривошипа

Выбираем чертёжную длину кривошипа

OA=OC=30 мм

Определяем масштабный коэффициент длин по формуле

 [м/мм]

 (м/мм)

Определяем чертёжную длину шатунов

 [мм]

AB=CD=0,16/0,0013=120 мм

 мм

Строим 12 положений механизма. В первом положении положение поршня наиболее удалено от точки О. В этом случае положение поршня также наиболее удалено от точки О. Нумерацию проставляем по ходу вращения кривошипа.

Измеряем на чертеже величину хода поршня

Н==60 мм

2.3 Построение индикаторной диаграммы

Определяем масштабный коэффициент давлений на индикаторной диаграмме. Принимаем на диаграмме ==100 мм, тогда

Строим индикаторную диаграмму для каждого поршня в соответствии с циклограммой двигателя и, учитывая, что цикл соответствует 1 обороту кривошипа. Следовательно для поршня В соответствуют такты “всасывание” и “сжатие”, для поршня D –“расширение” и ”выпуск”.

По оси абсцисс откладываем значения

По оси ординат откладываем

Составим таблицу для поршня В

Таблица 2.3.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| S/H | 0 | 0,025 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
|  | 0 | 1,5 | 3 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 |
|  | 0,01 | 0 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 |
|  | 1 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
|  | 0,29 | 0,23 | 0,2 | 0,16 | 0,1 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,014 | 0,007 | 0 | -0,005 | -0,01 |
|  | 29 | 23 | 20 | 16 | 10 | 6 | 4 | 3 | 1,4 | 1 | 0 | -0,5 | -1 |

Составим таблицу для поршня D

Таблица 2.4.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| S/H | 0 | 0,025 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
|  | 0 | 1,5 | 3 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 |
|  | 0,29 | 1 | 0,9 | 0,7 | 0,5 | 0,36 | 0,29 | 0,24 | 0,19 | 0,17 | 0,14 | 0,12 | 0,05 |
|  | 29 | 100 | 90 | 70 | 50 | 36 | 29 | 24 | 19 | 17 | 14 | 12 | 5 |
|  | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,05 |
|  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 |

Используя данные таблиц, построим 2 индикаторные диаграммы. На оси абсцисс откладываем величину S (перемещение поршня), по оси ординат величину Y (давление газа).

2.4 Определение сил давления газа для 12 положений каждого из поршней

На построенные диаграммы переносим точки, соответствующие 12 положениям кривошипа. При этом положение точки должно быть согласовано с тактом работы двигателя.

Вычисляем значения давлений для 12 положений каждого из поршней. Для этого, отрезок между осью абсцисс и соответствующей точкой на индикаторной кривой умножаем на масштабный коэффициент давлений

Силы давления газа для 12 положений на каждый поршень определяем по формуле:

Результаты вычислений заносим в таблицы.

Таблица 2.5. Цилиндр В.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 |
|  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,8 | 0 | 2 | 6,5 | 17 | 29 |
|  | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 2,56 | 0 | 6,4 | 20,8 | 54,4 | 92,8 |
|  | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 72 | 0 | 181 | 588 | 1537 | 2622 |

Таблица 2.6. Цилиндр D.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 |
|  | 1 | 75 | 37 | 20 | 14 | 11 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 29 |
|  | 3,2 | 240 | 118,4 | 64 | 44,8 | 35,2 | 16 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 3,2 | 92,8 |
|  | 90 | 6782,4 | 3345,9 | 1810 | 1266 | 994,7 | 452,16 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 2622 |

2.5 Построение планов скоростей для каждого из 12 положений механизма

Для построения плана скоростей используем векторные равенства и свойства планов.

Определяем угловую скорость кривошипа:

 рад/с

Определяем скорости точек А и С:

 м/с

Для построения плана скоростей произвольно выбираем полюс р и выбираем длину вектора ра, соответствующую скорости точки А. Допустим ра =40 мм.

Тогда масштабный коэффициент планов скоростей равен:

 м/с\*мм

а)Проводим линию ра (из полюса р) по направлению скорости точки А (перпендикулярно ОА). Отмечаем точку а и изображаем вектор ра (от полюса р к точке а).

б)Из точки р проводим линию параллельную ОВ, т.е. линию параллельную движению поршня.

в) Через точку а проводим линию, перпендикулярную линии АВ до пересечения с линией проведённой в пункте б. Точку пересечения обозначаем буквой b. Тогда вектор ab соответствует скорости звена АВ (шатуна), а вектор рb - скорости точки В (поршня). Если на отрезке аb изобразить точку S2, причём, aS2=1/3ab тогда вектор pS2 соответствует скорости движения центра масс звена АВ в точке S2.

Так же строится план скоростей для движения звена СD и точки D.

После построения 12 планов скоростей для каждого из 12 положений механизма можно определить скорости точек В и D. Для этого, величину отрезков рb и рd следует умножить на масштабный коэффициент.

2.6 Вычисление приведённого момента инерции механизма

За звено приведения принимаем входное звено (кривошип АВ).

Для каждого положения механизма приведённый момент инерции звеньев находится по формуле

где -масса звена i; -момент инерции звена i относительно оси, проходящей через центр масс звена; -угловая скорость звена i; -скорость центра масс звена i.

Учитывая, что

,

получаем:

Рассмотрим формулу по частям:

Так как в квадратных скобках величины постоянные не зависимые от положения механизма их можно сразу высчитать.

Конечная формула для вычисления приведённого момента инерции будет иметь вид:

Вычислим приведённые моменты инерции для 12 положений механизма и результаты занесем в таблицу.

Таблица 2.7. Приведённые моменты инерции 12 положений механизма.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| [мм] | 27 | 32 | 38 | 40 | 36 | 30 | 27 | 30 | 36 | 40 | 38 | 32 |
| ab [мм] | 40 | 35 | 21 | 0 | 21 | 35 | 40 | 35 | 21 | 0 | 21 | 35 |
| pb [мм] | 0 | 24 | 39 | 40 | 30 | 17 | 0 | 17 | 30 | 40 | 39 | 24 |
|  | 5594 | 6168 | 7055 | 7176 | 6513 | 5882 | 5594 | 5882 | 6513 | 7176 | 7055 | 6168 |

По полученным 12 значениям строим диаграмму приведённого момента инерции, при этом ось абсцисс расположим вертикально.

Выбираем масштабный коэффициент

2.7 Вычисление приведённого момента движущих сил

Из уравнения мощности:

Рассмотрим поршень В.

При всасывании и сжатии вектор скорости поршня В направлен в противоположную сторону вектору силы давления газов, из этого следует что

Рассмотрим поршень D.

При расширении

При выпуске

Тогда получаем:

Результаты расчётов занесём в таблицу, по которой в масштабе построим диаграмму приведённого момента движущих сил.

Выбираем масштабный коэффициент

Таблица 2.8

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 |
|  |  |  |  |  |  | 0,001 |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 72 | 0 | 181 | 588 | 1537 | 2622 |
| pb | 0 | 24 | 39 | 40 | 30 | 17 | 0 | 17 | 30 | 40 | 39 | 24 | 0 |
|  | 0 | -2,16 | -3,51 | -3,6 | -2,7 | -1,44 | 0 | -1,15 | 0 | -7,24 | -22,9 | -36,9 | 0 |
|  | 90 | 6782 | 3345 | 1810 | 1266 | 995 | 452 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 2622 |
| pd | 0 | 24 | 39 | 40 | 30 | 16 | 0 | 16 | 30 | 40 | 39 | 24 | 0 |
|  | 0 | 162,77 | 130 | 72,4 | 38 | 16 | 0 | -1,5 | -2,7 | -3,6 | -3,5 | -2,16 | 0 |
|  | 0 | 160,61 | 126,49 | 68,8 | 35,3 | 14,56 | 0 | -2,65 | -2,7 | -10,8 | -26,4 | -39,1 | 0 |

2.8 Построение диаграммы работ движущих сил

Построение диаграммы работ движущих сил осуществляем путём графического интегрирования диаграммы приведённых моментов. Для этого на диаграмме Мп на расстоянии h, слева от оси ординат ставим точку О, которую последовательно соединяем с ординатами "средних значений" Мп. По этим линиям строим диаграмму Ад. Принимаем h =60 мм Тогда масштабный коэффициент для диаграммы работ равен

2.9 Построение диаграммы работ сил сопротивления

Диаграмма работ сил сопротивления Ас представляет собой наклонную прямую, идущую от начала координат в конечную точку диаграммы работ движущих сил.

2.10 Построение диаграммы приведённого момента сил сопротивления

Диаграмму приведённого момента сил сопротивления строим путём графического дифференцирования диаграммы работ сил сопротивления. Для этого из точки О на диаграмме Мп проводим линию, параллельную линии Ас до пересечения с осью ординат. Из полученной точки проводим линию, параллельную оси абсцисс, получаем диаграмму Мс.

2.11 Построение диаграммы кинетической энергии

Откладываем на диаграмме отрезки равные разности ординат Aд и Ac.

2.12 Построение диаграммы “энергия – масса» (диаграмма Виттен-бауэра)

Строим диаграмму путём графического исключения аргумента из диаграмм .

Для этого ординаты обоих графиков переносим на один и получаем необходимую диаграмму.

2.13 Определение момента инерции маховика

К построенной диаграмме Виттен-бауэра проводим касательные под углом к её верхней части, и под углом к нижней части, которые отсекут на оси ординат отрезок KL. Используя значения этого отрезка в миллиметрах вычислим момент инерции маховика.

Углы вычисляем по формулам:

Проводим вычисления и находим:

Проводим касательные и измеряем длину отрезка KL.

3. Динамический анализ рычажного механизма

3.1 Построение планов скоростей и ускорений в заданном положении

Вычертим кинематическую схему механизма в заданном положении градусов.

При построении планов скоростей и ускорений условно принимаем

Скорости точек А и С кривошипа равны

Выбираем чертежную длину вектора скорости точек А и С: принимаем pa=pc=50 мм, тогда масштабный коэффициент равен:

Вычерчиваем план скоростей в одном заданном положении механизма (построения ведутся так же как в пункте 2.5.).

Определяем ускорение точки В

Ускорение точки А

 т.к.

Принимаем чертёжную длину вектора =50мм

Масштабный коэффициент равен:

Для построения плана ускорений произвольно выбираем полюс .

а) Проводим линию=50 мм (из полюса ) параллельно АС по направлению от А к точке С (перпендикулярно вектору скорости).

Отмечаем точку а и изображаем вектор (от полюса к точке а).

б) Из точки а проводим линию параллельную АВ, т.е. линию нормального ускорения звена 2. Отмечаем точку и изображаем вектор (от точки а к точке).

в) Из точки проводим линию параллельную ОВ, т.е. линию параллельную движению поршня.

г) Через точку проводим линию, перпендикулярную линии АВ, т.е. линию тангенциального ускорения звена, до пересечения с линией из пункта в. Точку пересечения обозначим точкой b. Тогда вектор ab соответствует ускорению звена АВ (шатуна), а вектор - ускорению точки В (поршня).

Если на отрезке аb изобразить точку S2, причём, aS2=1/3ab тогда векторS2 соответствует ускорению движения центра масс звена АВ в точке S2.

Так же строится план ускорений для движения звена СD и точки D.

Определим угловое ускорение звена АВ

3.2 Определение реакций в кинематических парах

Вычертим структурную группу 2-3 и нанесем все действующие на пару силы

1. Сила тяжести поршня, направленная из точки В вниз перпендикулярно ОВ

2. Сила тяжести шатуна, направленная из точки S2 вниз перпендикулярно ОВ

3. Сила реакции опоры, направленная противоположно силе тяжести

4. Сила давления газа па поршень, направленная против движения поршня параллельно ОВ.

5. Сила инерции поршня, направленная в противоположную сторону ускорения точки В.

6. Сила инерции шатуна, направленная из точки S2 (центр масс шатуна) в противоположную сторону ускорения точки S2.

7. Момент инерции шатуна, направленный в противоположную сторону углового ускорения.

Удобно силу инерции и момент инерции приложенные к звену 2, заменить 1 силой смещённой относительно центра масс на расстояние , так чтобы в новом положении эта сила давала момент относительно центра масс того же направления, что и момент инерции.

Отложим от точки S2 отрезок равный перпендикулярно силе инерции звена 2 по её направлению. Из конца отрезка проведем перпендикулярную линию до пересечения с линией продления звена 2. Точку пересечения линий обозначим Т1, из неё проведём силу инерции звена 2.

8. Сила реакции 2 звена от 1 звена. Так как направление и величину мы не знаем разложим силу на две составляющие (направленная от точки А к точке В) и(направленная от точки А вниз перпендикулярно АВ).

Силовой расчёт структурной группы 2-3.

Из условия равновесия:

Сумма моментов относительно точки В:

Из условия равновесия:

Графическое решение данного уравнения, выполненное в масштабе и представляющее собой замкнутый многоугольник, называется планом сил.

Неизвестные силы найдем с помощью построения плана сил.

Примем масштабный коэффициент плана сил, равный:

Теперь в масштабе переносим известные силы со структурной группы 2-3 на план сил в указанном порядке (силы на плане сил вычерчивать не будем, так как они имеют чертёжную величину менее 1 миллиметра). Из начала вектора проводим линию параллельную силе , а из конца вектора линию параллельную силе . Точкой пересечения обозначатся вектора неизвестных сил, направленные по ходу обхода плана сил. Соединив начало вектора, и конец вектора найдем неизвестную силу .

Аналогично структурной группе 2-3 вычерчиваем структурную группу 4-5 и определяем силыи :

3.3 Определение силового момента приложенного к начальному звену при силовом расчёте

Вычертим начальное звено 1 с масштабным коэффициентом

В точке А приложить силу , в точке С приложить силу .

В точке О обозначим силу направление и величину которой найдём из плана сил.

Масштабный коэффициент принимаем:

Сила равна:

Также обозначим уравновешивающий момент, направленный в противоположную сторону действия сил и .

Из условия равновесия

3.4 Определение уравновешивающего момента с помощью рычага Жуковского

Рычаг Жуковского представляет собой повёрнутый против часовой стрелки на 90 градусов план скоростей, в соответствующие точки которого перенесены внешние силы. А в точке а приложена уравновешивающая сила , перпендикулярная отрезку ра.

Поворачиваем план скоростей на 90 градусов. В точках b и d обозначим силы , и силы , ; в точках S2 и S4 силы тяжести звеньев 2 и 4; точки инаходим с помощью свойства подобия и из них чертим силы и.

Из условия равновесия относительно полюса плана скоростей найдём силу:

3.5 Сравним полученные величины уравновешивающего момента, полученные разными способами

