

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна»

Кафедра теоретической и прикладной механики

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД
КИНЕТОСТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА
РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Методические указания к курсовому проектированию
для студентов всех форм обучения

Составители:

М. В. Преображенская

Т. С. Грибкова

Санкт-Петербург

2007

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для проведения аналитического расчета кинестатики рычажных механизмов второго класса.

Кинестатика – это раздел технической механики, в котором используются методы статики для решения динамических задач. Метод кинестатики основан на принципе Даламбера, который можно сформулировать следующим образом: если к точкам подвижной системы наряду с заданными силами приложить силы инерции и реакции связи, то система будет находиться в равновесии, и, следовательно, к ней могут быть применены методы статики. При использовании этого метода не следует забывать, что речь идет лишь об условном приеме, облегчающем силовой анализ, поскольку сила инерции не приложена непосредственно к рассматриваемому звену, а лишь является мерой неравномерного движения, влияющей на величину реакции связи.

Поскольку проверка кинестатического расчета, выполняемого при курсовом проектировании, производится студентами с помощью разработанной на кафедре программы, то алгоритм расчета, изложенный в данных методических указаниях, приведен в соответствие с алгоритмом, используемым в программе. Для того чтобы не было расхождения в терминологии, условимся о некоторых обозначениях.

Первой входной точкой мы будем называть точку, получающую движение от предыдущей группы Ассура. Второй – точку, присоединенную к стойке, а если такой нет, то к другому подвижному звену. Первая входная точка, как правило, будет обозначаться буквой А.

Поскольку группа Ассура второго класса состоит из двух звеньев, то дадим им номера 2 и 3. Номер 1 – всегда ведущее звено. Звено, которому принадлежит первая входная точка, мы будем считать вторым, а звено, которому принадлежит вторая входная точка, мы будем считать третьим.

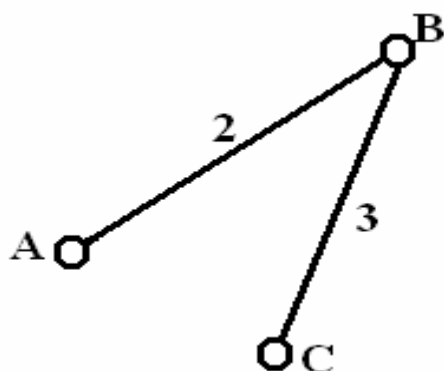


Рис. 1. Группа Ассура первой модификации

На рис. 1 представлена группа Ассура первой модификации. Вторым звеном в этой группе будет шатун (звено АВ), а третьим – звено ВС. Если шарнир С присоединяется к неподвижной точке, то звено ВС является коромыслом, если к подвижной, то шатуном.

На рис. 2 представлена группа Ассура второй модификации.

Вторым звеном АВ мы будем называть шатун или коромысло в зависимости от того, к подвижной или неподвижной точке присоединяется шарнир А.

Третьим звеном всегда будет ползун.

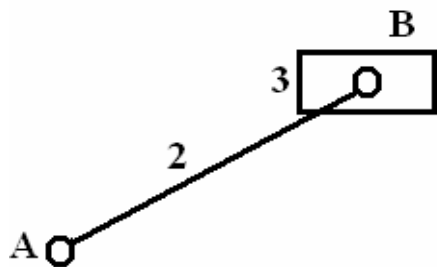


Рис. 2. Группа Ассура второй модификации

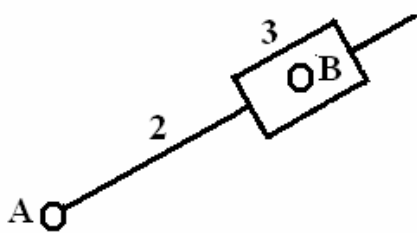


Рис. 3. Группа Ассура третьей модификации

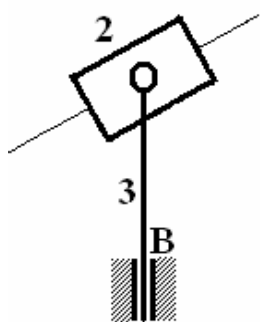


Рис. 4. Группа Ассура четвертой модификации

На рис. 3 представлена группа Ассура третьей модификации. Вторым звеном здесь всегда будет направляющая АВ, а третьим звеном – ползун независимо от того, какое звено является ведущим в этой группе.

На рис. 4 представлена группа Ассура четвертой модификации. В этой группе, в отличие от остальных, вторым номером обозначен ползун, а третьим – ведомое звено.

Предполагается, что до начала кинестатического расчета проведен кинематический расчет рассматриваемого механизма. Результаты кинематического расчета используются для определения динамической нагрузки, т. е. для расчета сил инерции и моментов инерционных сил.

Представляем силы инерции в виде проекций на координатные оси Ox и Oy :

$$P_i^x = -m_i x s_i'' \omega_1^2; \quad (1)$$

$$P_i^y = -m_i y s_i'' \omega_1^2 \quad (2)$$

где m_i – масса i -го звена; $x s_i''$ и $y s_i''$ – вторые передаточные функции – аналоги проекций ускорения центра тяжести i -го звена на координатные оси, определенные ранее в процессе кинематического расчета; ω_1 – угловая скорость ведущего звена.

Момент инерционных сил на i -м звене

$$M_i = -J s_i \varphi_i'' \omega_1^2, \quad (3)$$

где $J s_i$ – момент инерции массы i -го звена относительно оси, проходящий через его центр тяжести; φ_i'' – вторая (угловая) передаточная функция i -го звена, т. е. аналог углового ускорения.

Реакции во вращательных кинематических парах могут быть разложены по любым направлениям. Поскольку конечным результатом аналитического расчета являются проекции неизвестных реакций на оси координат, то, каза-

лось бы, логичным сразу разложить эти реакции по направлениям осей координат. Однако при таком способе разложения расчет оказывается более сложным, чем при разложении этих реакций на нормальную и тангенциальную составляющие, кроме того, поскольку в графической части работы определяются именно нормальные и тангенциальные составляющие, то их аналитический расчет послужит контролем правильности графоаналитических расчетов.

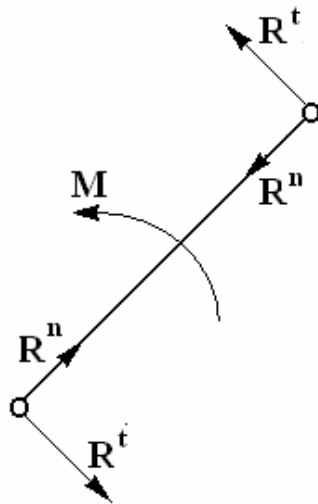


Рис. 5. Положительное направление моментов и составляющих реакций

Из указанных выше соображений реакции во вращательных кинематических парах будут, как правило, раскладываться именно на нормальную и тангенциальную составляющие.

Положительным направлением момента в правой системе координат считается направление против часовой стрелки (рис.5).

Положительным направлением тангенциальной составляющей будем считать направление вектора, который создает положительный момент относительно второй точки звена.

1. Группа Ассура первой модификации

На рис. 1.1 представлена группа Ассура первой модификации.

G_2 и G_3 – силы тяжести звеньев, $P_2^x, P_2^y, P_3^x, P_3^y$ – проекции сил инерции звеньев на оси координат. M_2 и M_3 – моменты инерционных сил, действующие на звенья. R_{n2}^x и R_{n2}^y проекции определенных ранее реакций со стороны n -й группы, присоединенной к рассматриваемой группе в точке D_2 . R_{m3}^x и R_{m3}^y – проекции определенных ранее реакций со стороны m -й группы, присоединенной к рассматриваемой группе в точке D_3 . Все эти силы предварительно определены. Неизвестными силами, подлежащими определению, являются реакции во внешних шарнирах. Раскладываем эти реакции по двум направлениям: по звену – нормальная составляющая реакции и перпендикулярно звену – тангенциальная составляющая реакции.

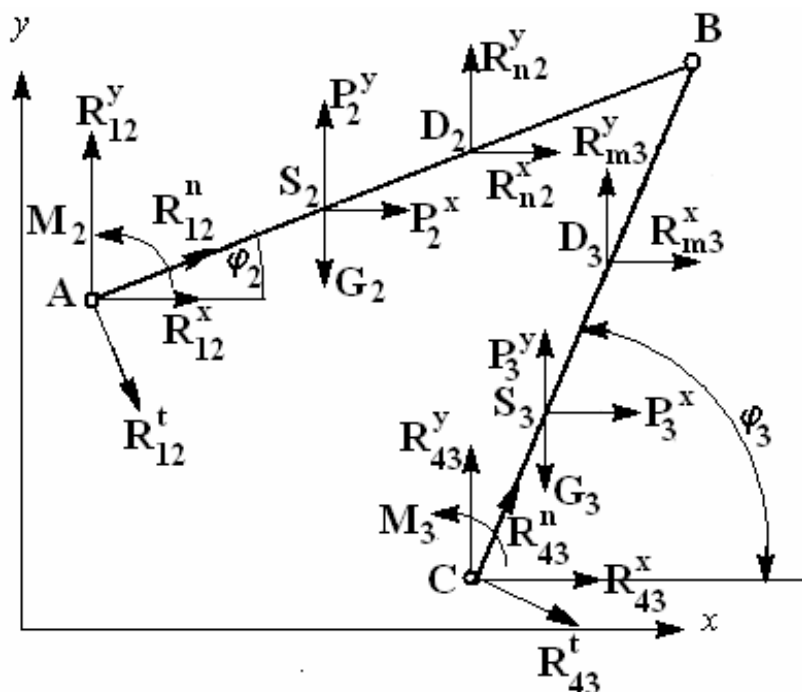


Рис. 1.1. Группа Ассура первой модификации

Примечание. На всех рисунках показаны направления сил и моментов, принятые за положительные.

Для определения тангенциальной составляющей реакции R_{12}^t составим уравнение моментов относительно точки B для второго звена:

$$\sum M(B)_2 = R_{12}^t AB - (P_2^y - G_2) BS_2 \cos \varphi_2 + P_2^x BS_2 \sin \varphi_2 - \\ - R_{n2}^y BD_2 \cos \varphi_2 + R_{n2}^x BD_2 \sin \varphi_2 + M_2 = 0.$$

Отсюда

$$R_{12}^t = \frac{M_y \cos \varphi_2 - M_x \sin \varphi_2 - M_2}{AB}, \quad (1.1)$$

где $M_y = (P_2^y - G_2) BS_2 + R_{n2}^y BD_2,$

$$M_x = P_2^x BS_2 + R_{n2}^x BD_2.$$

$$\sum M(B)_3 = R_{43}^t CB - (P_3^y - G_3) S_3 B \cos \varphi_3 + P_3^x S_3 B \sin \varphi_3 - \\ - R_{m3}^y BD_3 \cos \varphi_3 + R_{m3}^x BD_3 \sin \varphi_3 + M_3 = 0.$$

$$R_{43}^t = \frac{M_y \cos \varphi_3 - M_x \sin \varphi_3 - M_3}{CB}, \quad (1.2)$$

$$\text{где } M_y = (P_3^y - G_3)BS_3 + R_{m3}^y BD_3,$$

$$M_x = P_3^x BS_3 + R_{m3}^x BD_3.$$

Для определения нормальных составляющих реакций составляем уравнения равновесия для всей группы Ассур в проекциях на координатные оси:

$$\left. \begin{aligned} \sum X &= R_{12}^t \sin \varphi_2 + R_{12}^n \cos \varphi_2 + X + R_{43}^t \sin \varphi_3 + R_{43}^n \cos \varphi_3 = 0, \\ \sum Y &= R_{12}^t \cos \varphi_2 + R_{12}^n \sin \varphi_2 + Y - R_{43}^t \cos \varphi_3 + R_{43}^n \sin \varphi_3 = 0, \end{aligned} \right\} \quad (1.3)$$

$$\text{где } X = P_2^x + P_3^x + R_{n2}^x + R_{m3}^x,$$

$$Y = P_2^y - G_2 + P_3^y - G_3 + R_{n2}^y + R_{m3}^y.$$

Решая систему уравнений (1.3) относительно неизвестных R_{12}^n и R_{43}^n , получаем

$$R_{12}^n = \frac{-Y \cos \varphi_3 + X \sin \varphi_3 + R_{12}^t \cos(\varphi_2 - \varphi_3) + R_{43}^t}{\sin(\varphi_2 - \varphi_3)}, \quad (1.4)$$

$$R_{43}^n = \frac{Y \cos \varphi_2 - X \sin \varphi_2 - R_{43}^t \cos(\varphi_2 - \varphi_3) - R_{12}^t}{\sin(\varphi_2 - \varphi_3)}, \quad (1.5)$$

Реакции в проекциях на координатные оси:

$$R_{12}^x = R_{12}^t \sin \varphi_2 + R_{12}^n \cos \varphi_2, \quad (1.6)$$

$$R_{12}^y = R_{12}^n \sin \varphi_2 - R_{12}^t \cos \varphi_2, \quad (1.7)$$

$$R_{43}^x = R_{43}^t \sin \varphi_3 + R_{43}^n \cos \varphi_3, \quad (1.8)$$

$$R_{43}^y = R_{43}^n \sin \varphi_3 - R_{43}^t \cos \varphi_3. \quad (1.9)$$

Полные реакции могут определяться как через нормальные и тангенциальные составляющие

$$R_{12} = \sqrt{(R_{12}^t)^2 + (R_{12}^n)^2}, \quad (1.10)$$

$$R_{43} = \sqrt{(R_{43}^x)^2 + (R_{43}^y)^2}, \quad (1.11)$$

так и через проекции реакций на координатные оси:

$$R_{12} = \sqrt{(R_{12}^x)^2 + (R_{12}^y)^2}, \quad (1.12)$$

$$R_{43} = \sqrt{(R_{43}^x)^2 + (R_{43}^y)^2}. \quad (1.13)$$

2. Группа Ассур второй модификации

На *рис. 2.1* представлена группа Ассур второй модификации.

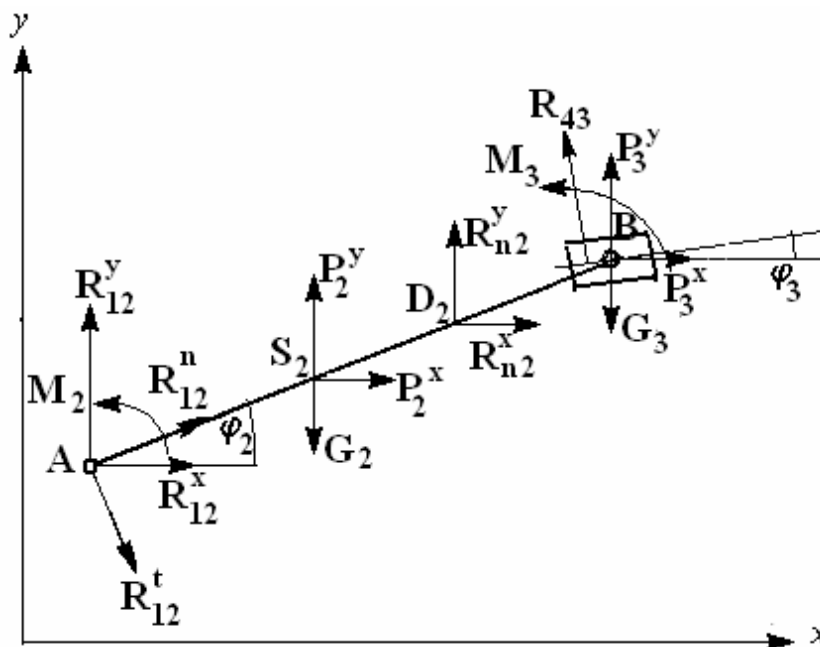


Рис. 2.1. Группа Ассур второй модификации

$P_2^x, P_2^y, P_3^x, P_3^y$ – проекции сил инерции второго и третьего звеньев на оси координат, M_2 и M_3 – моменты инерционных сил, действующие на второе и третье звенья, R_{n2}^x и R_{n2}^y – известные реакции со стороны n -й группы, присоединенной ко второму звену в точке D_2 . Реакции R_{12} и R_{43} неизвестны и подлежат определению.

Для определения тангенциальной составляющей реакции R_{12}^t составляем уравнение моментов всех сил, действующих на второе звено относительно шарнира В:

$$\sum M(B)_2 = R_{12}^t AB - (P_2^y - G_2)BS_2 \cos \varphi_2 + P_2^x BS_2 \sin \varphi_2 - \\ - R_{n2}^y BD_2 \cos \varphi_2 + R_{n2}^x BD_2 \sin \varphi_2 + M_2 = 0,$$

отсюда

$$R_{12}^t = \frac{M_y \cos \varphi_2 - M_x \sin \varphi_2 - M_2}{AB}, \quad (2.1)$$

где $M_y = (P_2^y - G_2)BS_2 + R_{n2}^y BD_2,$
 $M_x = P_2^x BS_2 + R_{n2}^x BD_2.$

Уравнения в проекциях на координатные оси:

$$\left. \begin{aligned} \sum X &= R_{12}^t \sin \varphi_2 + R_{12}^n \cos \varphi_2 + X - R_{43} \sin \varphi_3 = 0, \\ \sum Y &= -R_{12}^t \cos \varphi_2 + R_{12}^n \sin \varphi_2 + Y + R_{43} \cos \varphi_3 = 0, \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

где $X = P_2^x + P_3^x + R_{n2}^x,$
 $Y = P_2^y - G_2 + P_3^y - G_3 + R_{n2}^y.$

Решая систему уравнений (2.2) относительно неизвестных R_{12}^n и R_{43} ,
получаем

$$R_{12}^n = \frac{-Y \sin \varphi_3 - X \cos \varphi_3 - R_{12}^t \sin(\varphi_2 - \varphi_3)}{\cos(\varphi_2 - \varphi_3)}, \quad (2.3)$$

$$R_{43} = \frac{-Y \cos \varphi_2 + X \sin \varphi_2 + R_{12}^t}{\cos(\varphi_2 - \varphi_3)}. \quad (2.4)$$

Точка приложения реакции в поступательной паре R_{43} неизвестна.
Обозначим h расстояние от шарнира B до точки приложения этой реакции.
Для определения этого расстояния составляем уравнение равновесия только
для ползуна в виде уравнения моментов относительно точки В:

$$\sum M = R_{43}h - M_3 = 0,$$

отсюда $h = \frac{M_3}{R_{43}}.$ (2.5)

Реакции в проекциях на координатные оси

10 $R_{12}^x = R_{12}^t \sin \varphi_2 + R_{12}^n \cos \varphi_2,$

(2.6)

$$R_{12}^y = R_{12}^n \sin \varphi_2 - R_{12}^t \cos \varphi_2, \quad (2.7)$$

$$R_{43}^x = -R_{43} \sin \varphi_3, \quad (2.8)$$

$$R_{43}^y = R_{43} \cos \varphi_3. \quad (2.9)$$

Полная реакция R_{12} определяется по формулам

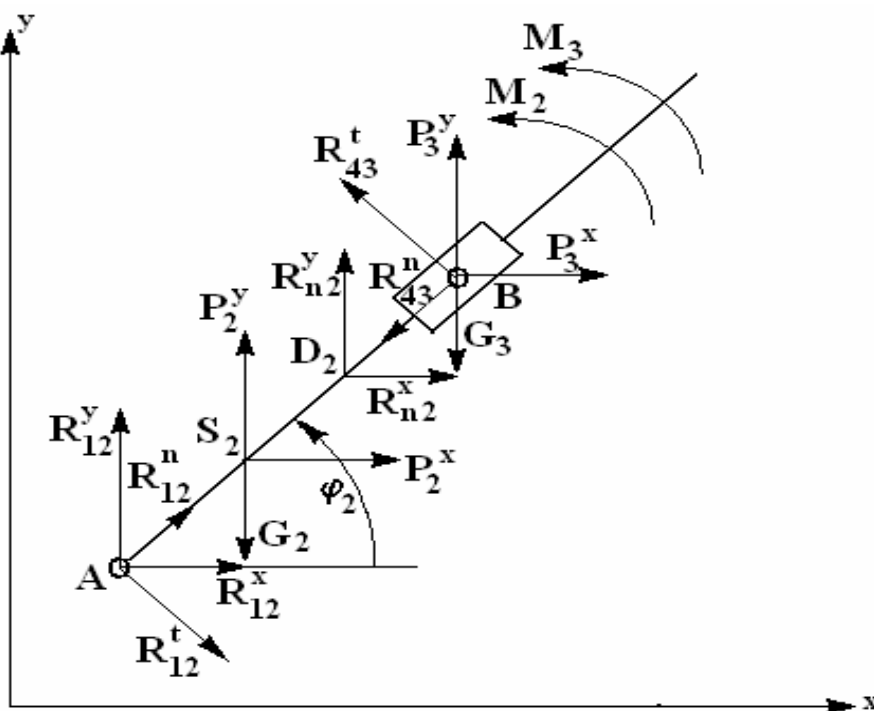
$$R_{12} = \sqrt{(R_{12}^x)^2 + (R_{12}^y)^2} \quad (2.10)$$

или

$$R_{12} = \sqrt{(R_{12}^t)^2 + (R_{12}^n)^2}. \quad (2.11)$$

3. Группа Ассур третьей модификации

На *рис. 3.1* представлена группа Ассур третьей модификации.



Особенность методики кинетостатического расчета группы Ассур третьей модификации (*рис. 3.1*) определяется тем, что внутренняя кинематическая пара в этой группе — поступательная, поэтому у реакции R_{32} между

вторым и третьим звеньями не известна точка приложения, что не позволяет составлять уравнения моментов отдельно для второго и третьего звеньев,

кроме того, нормальные составляющие реакций во внешних кинематиче-

ских парах R_{12}^n и R_{43}^n направлены по одной прямой, что не дает возможность определить их обычным способом, составив уравнения равновесия всей группы в проекциях на координатные оси.

Поэтому на первом этапе решения задачи определяем реакцию R_{12}^t , для этого составляем уравнение моментов для двух звеньев относительно точки В:

$$\sum M(B) = R_{12}^t AB - (P_2^y - G_2) BS_2 \cos \varphi_2 + P_2^x BS_2 \sin \varphi_2 - \\ - R_{n2}^y BD_2 \cos \varphi_2 + R_{n2}^x BD_2 \sin \varphi_2 + M_2 + M_3 = 0,$$

отсюда определяем реакцию R_{12}^t :

$$R_{12}^t = \frac{M_y \cos \varphi_2 - M_x \sin \varphi_2 - M_2 - M_3}{AB}, \quad (3.1)$$

$$\text{где } M_x = P_2^x BS_2 + R_{n2}^x BD_2,$$

$$M_y = (P_2^y - G_2) BS_2 + R_{n2}^y BD_2.$$

Для проверки графической части работы можно определить тангенциальную составляющую реакции, действующей в шарнире В. Для этого составляем уравнение моментов относительно точки А для двух звеньев:

$$\sum M(A) = R_{43}^t AB + \left((P_3^y - G_3) AB + R_{n2}^y AD_2 + (P_2^y - G_2) AS_2 \right) \cos \varphi_2 - \\ - \left(P_3^x AB + P_2^x AS_2 + R_{n2}^x AD_2 \right) \sin \varphi_2 + M_2 + M_3 = 0,$$

отсюда

$$R_{43}^t = \frac{M_x \sin \varphi_2 - M_y \cos \varphi_2 - M_2 - M_3}{AB}, \quad (3.2)$$

$$\text{где } M_x = P_3^x AB + R_{n2}^x AD_2 + P_2^x AS_2,$$

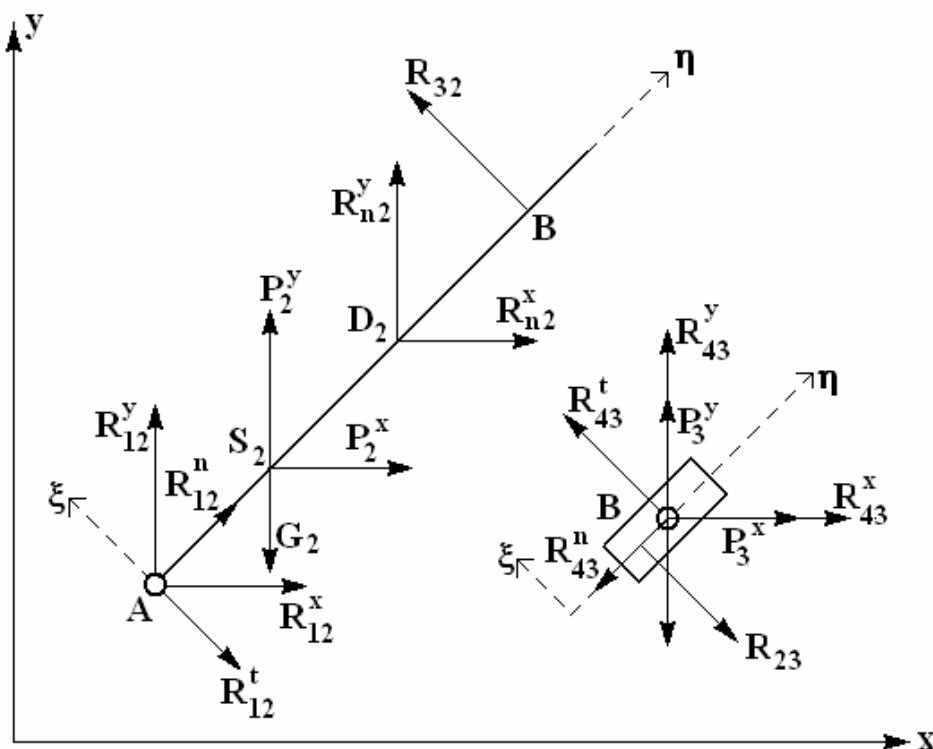
$$M_y = (P_3^y - G_3) AB + R_{n2}^y AD_2 + (P_2^y - G_2) AS_2.$$

Однако формула (3.2) необязательна для расчета, так как конечный результат будет получен без использования этой формулы.

На втором этапе расчета определяем реакцию R_{32} . Для этого направляющая АВ и ползун рассматриваются отдельно.

На *рис. 3.2* представлены отдельно направляющая и ползун, где R_{32} – реакция со стороны отброшенного ползуна на направляющую, R_{23} – реак-

ция со стороны отброшенной направляющей на ползун, причем $R_{23} = -R_{32}$.



Поскольку это реакция в поступательной паре, то она направлена перпендикулярно направляющей (рис. 3.2). Для ее определения составим уравнение проекций сил, действующих на второе звено, на ось, перпендикулярную звену:

Рис. 3.2. Направляющая и ползун

$$\sum P = R_{32} \left(R_{12}^t - (P_2^y - G_2 + R_{n2}^y) \cos \varphi_2 + (P_2^x + R_{n2}^x) \sin \varphi_2 \right) \sin \varphi_2 = 0,$$

отсюда

$$R_{32} = R_{12}^t - (P_2^y - G_2 + R_{n2}^y) \cos \varphi_2 + (P_2^x + R_{n2}^x) \sin \varphi_2. \quad (3.3)$$

Для определения нормальной составляющей реакции R_{43} спроецируем все силы, действующие на ползун, на ось η , совпадающую по направлению со звеном АВ:

$$\sum \eta = -R_{43}^n + (P_3^y - G_3) \sin \varphi_2 + P_3^x \cos \varphi_2 = 0,$$

отсюда

$$R_{43}^n = (P_3^y - G_3) \sin \varphi_2 + P_3^x \cos \varphi_2. \quad (3.4)$$

Сумма проекций сил, действующих на третье звено на координатные оси:

$$\begin{aligned}\sum X &= P_3^x + R_{43}^x + R_{23} \sin \varphi_2, \\ \sum Y &= P_3^y - G_3 + R_{43}^y - R_{23} \cos \varphi_2,\end{aligned}$$

отсюда

$$R_{43}^x = -P_3^x - R_{23} \sin \varphi_2, \quad (3.5)$$

$$R_{43}^y = -P_3^y + G_3 + R_{23} \cos \varphi_2. \quad (3.6)$$

Проекция реакции R_{43} на координатные оси можно определить также через нормальную и тангенциальную составляющие:

$$R_{43}^x = -R_{43}^t \sin \varphi_2 - R_{43}^n \cos \varphi_2, \quad (3.7)$$

$$R_{43}^y = R_{43}^t \cos \varphi_2 - R_{43}^n \sin \varphi_2. \quad (3.8)$$

Полные реакции могут быть найдены как через нормальные и тангенциальные составляющие, так и через проекции на координатные оси:

$$R_{34} = \sqrt{(R_{34}^t)^2 + (R_{34}^n)^2}, \quad (3.9)$$

$$R_{34} = \sqrt{(R_{34}^x)^2 + (R_{34}^y)^2}. \quad (3.10)$$

Для определения нормальной составляющей R_{12}^n спроецируем все силы, действующие на второе звено (см. *рис. 3.2*), на ось ξ , расположенную перпендикулярно звену АВ:

$$\sum \xi = (P_2^y - G_2 + R_{n2}^y) \sin \varphi_2 + (P_2^x + R_{n2}^x) \cos \varphi_2 + R_{12}^n = 0,$$

отсюда

$$R_{12}^n = -(P_2^y - G_2 + R_{n2}^y) \sin \varphi_2 - (P_2^x + R_{n2}^x) \cos \varphi_2. \quad (3.11)$$

Реакция в проекциях на координатные оси

$$R_{12}^x = R_{12}^t \sin \varphi_2 + R_{12}^n \cos \varphi_2, \quad (3.12)$$

$$R_{12}^y = R_{12}^n \sin \varphi_2 - R_{12}^t \cos \varphi_2. \quad (3.13)$$

Полная реакция

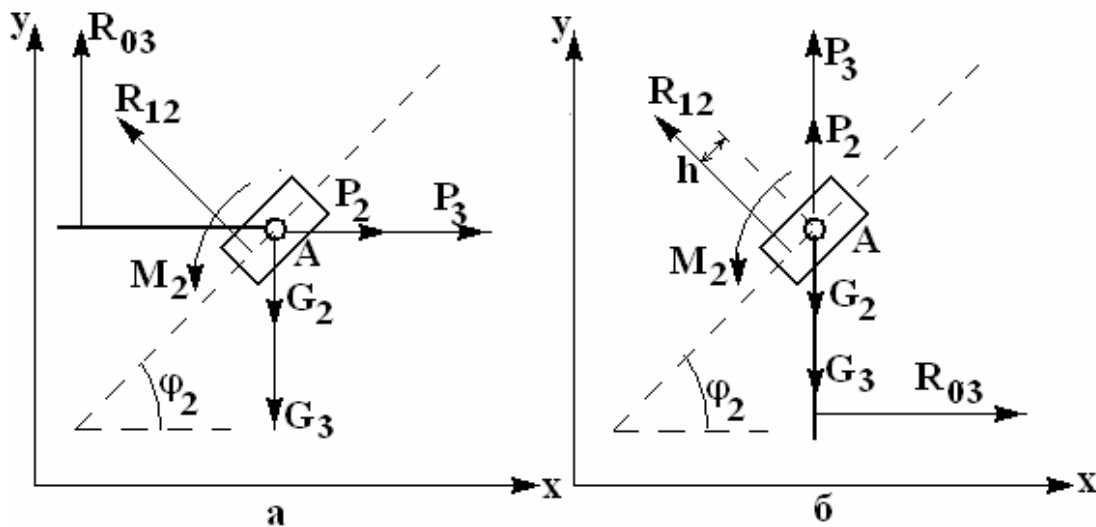
$$R_{12} = \sqrt{(R_{12}^n)^2 + (R_{12}^t)^2}. \quad (3.14)$$

4. Группа Ассур четвертой модификации

В методических указаниях предлагаются два варианта группы четвертой модификации – с горизонтальным и вертикальным движением ведомого звена.

На рис. 4.1 P_2 и P_3 – силы инерции второго и третьего звеньев. M_2 – момент инерционных сил, действующий на второе звено.

На рис. 4.1 представлена группа с горизонтальным (а) и вертикальным (б) движением направляющей.



В группе Ассур четвертой модификации обе внешние кинематические пары – поступательные, поэтому у неизвестных реакций в этих парах известны линии действия. Это обстоятельство существенно облегчает задачу их определения.

Рис. 4.1. Группа Ассур четвертой модификации:

а – горизонтальное, б – вертикальное движение ведомого звена

для определения реакции R_{12} и R_{03} составим уравнение равновесия в проекциях на координатные оси:

$$\sum X = -R_{12} \sin \varphi_2 + P_2 + P_3 = 0,$$

$$\sum Y = R_{12} \cos \varphi_2 - G_2 - G_3 + R_{03} = 0,$$

отсюда

$$R_{12} = \frac{P_2 + P_3}{\sin \varphi_2} \quad (4.1)$$

15или в проекциях на координатные оси

$$R_{12}^x = -R_{12} \sin \varphi_2, \quad (4.2)$$

$$R_{12}^y = R_{12} \cos \varphi_2, \quad (4.3)$$

$$R_{03} = -R_{12} \cos \varphi_2 + G_2 + G_3. \quad (4.4)$$

На *рис. 4.1,б* представлена группа Ассура четвертой модификации с вертикальным движением ведомого звена.

Для определения неизвестных реакций R_{12} и R_{03} составим уравнение равновесия в проекциях на координатные оси:

$$\sum X = -R_{12} \sin \varphi_2 + R_{03} = 0,$$

$$\sum Y = P_2 - G_2 + P_3 - G_3 + R_{12} \cos \varphi_2 = 0.$$

Из второго уравнения определяем

$$R_{12} = \frac{G_2 - P_2 + G_3 - P_3}{\cos \varphi_2}. \quad (4.5)$$

Из первого уравнения системы имеем

$$R_{03} = R_{12} \sin \varphi_2. \quad (4.6)$$

Выражения для R_{12} в проекциях на координатные оси – см. формулы (4.2) и (4.3).

Поскольку точка приложения реакции в поступательной паре R_{12} неизвестна, то она подлежит определению. Для этой цели составим уравнение моментов относительно точки A для второго звена:

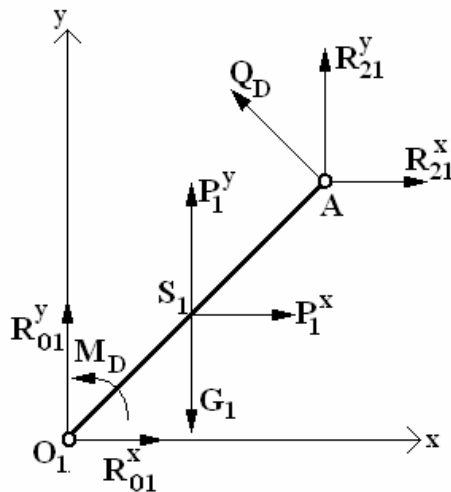
$$\sum M(A)_2 = R_{21}h - M_2 = 0,$$

где h – неизвестное расстояние от шарнира A до реакции R_{12} ,

отсюда $h = \frac{M_2}{R_{21}}.$

5. Входное звено

На рис. 5.1 представлена кинематическая схема входного звена.



К входному звену может быть приложена движущая сила или движущий момент, в зависимости от того, какой механизм приводит его в движение.

Рассмотрим об *Рис. 5.1* Входное звено

P_1^x и P_1^y – проекции силы инерции первого звена на координатные оси. Неизвестными силами, которые предстоит определить, являются движущий момент M_D (или движущая сила Q_D), приложенный к кривошипу, и реакция в шарнире O_1 . Положительным направлением движущего момента M_D принимаем направление, совпадающее с направлением угловой скорости входного звена. Положительным направлением движущей силы принимаем направление линейной скорости точки А. Направление реакции в шарнире O_1 неизвестно, поэтому она раскладывается на два направления: R_{01}^x и R_{01}^y . Реакции R_{21}^x и R_{21}^y определены при расчете группы, присоединяющейся к входному звену в шарнире А, причем $R_{21}^x = -R_{12}^x$ и $R_{21}^y = -R_{12}^y$.

Для определения движущего момента составляем уравнение моментов относительно шарнира O_1 :

$$\sum M(O_1) = (R_{21}^x \cdot AO_1 - G_1 \cdot O_1 S_1) \cos \varphi_1 - R_{21}^y \cdot AO_1 \sin \varphi_1 + M_D = 0. \quad (5.1)$$

В этом уравнении удобнее использовать полную силу инерции кривошипа, так как она направлена по звену и момент ее относительно шарнира O_1 равен нулю.

Отсюда

$$M_D = R_{21}^x \cdot AO_1 \sin \varphi_1 - (R_{21}^y \cdot AO_1 - G_1 \cdot O_1 S_1) \cos \varphi_1. \quad (5.2)$$

Для определения реакции в шарнире O_1 составляем уравнения равновесия в проекциях на координатные оси

$$\sum X = R_{01}^x + R_{21}^x + P_1^x = 0,$$

$$\sum Y = R_{01}^y + R_{21}^y + P_1^y - G_1 = 0.$$

Из первого уравнения определяем

$$R_{01}^x = -P_1^x - R_{21}^x. \quad (5.3)$$

Из второго уравнения определяем

$$R_{01}^y = G_1 - P_1^y - R_{21}^y. \quad (5.4)$$

Полная реакция R_{01} определяется согласно формуле

$$R_{01} = \sqrt{(R_{01}^x)^2 + (R_{01}^y)^2}. \quad (5.5)$$

Для определения движущей силы составляем уравнение моментов относительно шарнира O_1 :

$$\sum M(Q_1) = (R_{21}^x \cdot AO_1 - G_1 \cdot O_1 S_1) \cos \varphi_1 - R_{21}^y \cdot AO_1 \sin \varphi_1 + Q_D \cdot AO_1 = 0,$$

отсюда

$$Q_D = \frac{R_{21}^x AO_1 \sin \varphi_1 - (R_{21}^y AO_1 - G_1 O_1 S_1) \cos \varphi_1}{AO_1}. \quad (5.6)$$

Для определения реакции R_{01} в шарнире O_1 составляем уравнения равновесия в проекциях на координатные оси:

$$\sum X = R_{01}^x + R_{21}^x + P_1^x - Q_D \sin \varphi_1 = 0,$$

$$\sum Y = R_{01}^y + R_{21}^y + P_1^y - G_1 + Q_D \cos \varphi_1 = 0.$$

из этих уравнений определяем

$$R_{01}^x = Q_D \sin \varphi_1 - P_1^x - R_{21}^x,$$

(5.7)

$$R_{01}^y = G_1 - R_{21}^y - P_1^y - Q_D \cos \varphi_1. \quad (5.8)$$

Полная реакция определяется по формуле (5.5).

6. Пример кинетостатического расчета механизма

Рассмотрим кинетостатический расчет механизма, представленного на рис. 6.1.

Проведем структурный анализ данного механизма:

- O_1 - 1 1-й класс, 1-й порядок;
 (A) - 2 - (A) - 3 - O_2 2-й класс, 2-й порядок, 3-я модификация;
 (B) - 4 - (C) - 5 - C 2-й класс, 2-й порядок, 2-я модификация.

Механизм 2-го класса, 2-го порядка.

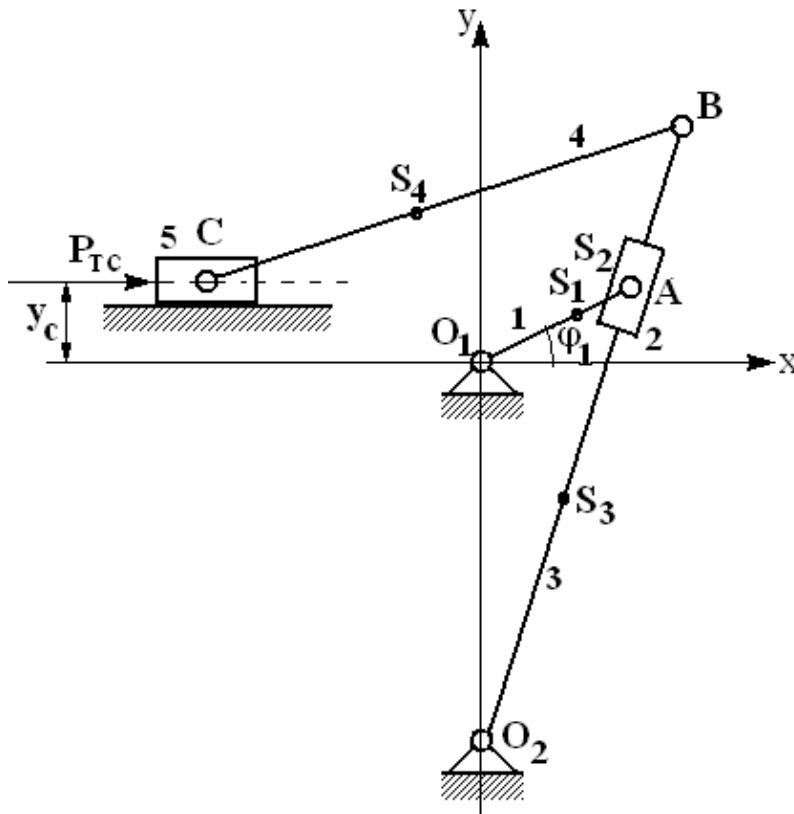


Рис. 6.1. Механизм второго класса

Произведем силовой расчет механизма для следующих исходных данных:

размеры звеньев, м:

$$\begin{aligned}
 O_1A = 0,1, & \quad O_1S_1 = 0,05, & \quad O_2 = 0,25, & \quad O_2B = 0,4, \\
 O_2S_3 = 0,1, & \quad BC = 0,25, & \quad BS_4 = 0,1, & \quad y_c = 0,05;
 \end{aligned}$$

массы звеньев, кг:

$$m_1 = 0,5, \quad m_2 = 0,3, \quad m_3 = 2,5, \quad m_4 = 2, \quad m_5 = 0,4;$$

моменты инерции масс звеньев, кгм²:

$$J_{S_2} = 0,0015, \quad J_{S_3} = 0,025, \quad J_{S_4} = 0,015;$$

сила технологического сопротивления $P_{Tc} = 100$ Н;

частота вращения кривошипа $10,0 \text{ с}^{-1}$;

положение кривошипа $\varphi_1 = 30^\circ$.

Предварительно проводим кинематический расчет механизма, в результате которого имеем:

$$\omega_1 = 2\pi n = 2 \cdot 3,1415 \cdot 10 = 62,83 \text{ с}^{-1},$$

$$AO_2 = 0,3122 \text{ м},$$

$$\cos \varphi_2 = 0,2774,$$

$$\sin \varphi_2 = 0,9608,$$

$$\cos \varphi_4 = -0,9414,$$

$$\sin \varphi_4 = -0,3372,$$

$$\varphi_2'' = 0,11957,$$

$$\varphi_4'' = -0,02636,$$

$$x_{S_1}'' = -0,0433 \text{ м},$$

$$y_{S_1}'' = -0,025 \text{ м},$$

$$x_{S_2}'' = x_A'' = -0,0866 \text{ м},$$

$$y_{S_2}'' = -0,05 \text{ м},$$

$$x_{S_3}'' = -0,01296 \text{ м},$$

$$y_{S_3}'' = -0,0018 \text{ м},$$

$$x_{S_4}'' = -0,05163 \text{ м},$$

$$y_{S_4}'' = -0,00432 \text{ м},$$

$$x_{S_5}'' = x_B'' = -0,051297 \text{ м}.$$

Сила инерции кривошипа в проекциях на координатные оси, Н:

$$P_1^x = -m_1 x_{S_1}'' \omega_1^2 = -0,5(-0,0433)62,83^2 = 85,46,$$

$$P_1^y = -m_1 y_{S_1}'' \omega_1^2 = -0,5(-0,025)62,83^2 = 49,345.$$

Знак минус в этих формулах указывает на то, что сила инерции направлена в сторону, обратную ускорению, знак которого определяется знаком передаточной функции. В данном случае, поскольку передаточные функции отрицательны, то направления проекций сил инерции совпадают с положительными направлениями осей координат.

Силы инерции остальных звеньев в проекциях на координатные оси, Н, определяем согласно следующим формулам (1), (2):

$$P_2^x = -m_2 x_{S_2}'' \omega_1^2 = -0,3(-0,0866)62,83^2 = 102,6,$$

$$P_2^y = -m_2 y_{S_2}'' \omega_1^2 = -0,3(-0,05)62,83^2 = 52,22,$$

$$P_3^x = -m_3 x_{S_3}'' \omega_1^2 = -2,5(-0,01296)62,83^2 = 128,0,$$

$$P_3^y = -m_3 y_{S_3}'' \omega_1^2 = -2,5(-0,0018)62,83^2 = 17,77,$$

$$P_4^x = -m_4 x_{S_4}'' \omega_1^2 = -2,0(-0,05163)62,83^2 = 407,7,$$

$$P_4^y = -m_4 y_{S_4}'' \omega_1^2 = -2,0(-0,00432)62,83^2 = 34,11,$$

$$P_5 = -m_5 x_C'' \omega_1^2 = -0,4(-0,051297)62,83^2 = 81,0.$$

Моменты инерционных сил, Нм, определяются по формуле (3).

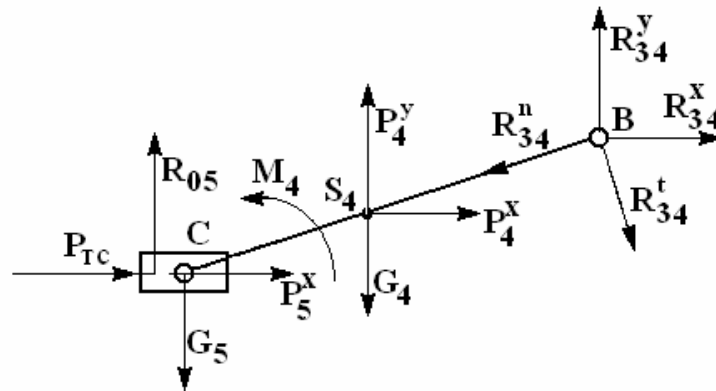
$$M_2 = -J_{S_2} \varphi_2'' \omega_1^2 = -0,0015 \cdot 0,11957 \cdot 62,83^2 = -0,7081,$$

$$M_3 = -J_{S_3} \varphi_3'' \omega_1^2 = -0,025 \cdot 0,11957 \cdot 62,83^2 = -11,8,$$

$$M_4 = -J_{S_4} \varphi_4'' \omega_1^2 = -0,015(-0,02636)62,83^2 = -1,561.$$

Кинетостатический анализ механизма начинается с последней группы Ассур – в данном случае с группы 2-й модификации.

На *рис. 6.2* представлена группа Ассур 2-й модификации с приложенными к ней силами и моментами.



Поскольку *Рис. 6.2. Группа Ассур второй модификации* последней, то реакции от присоединенных к ней групп $R_{n4} = 0$ и $R_{m5} = 0$. Заданная внешняя сила – сила технологического сопротивления – приложена к ползуну по горизонтали.

Со стороны отброшенного третьего звена O_2B на шатун BC действует реакция R_{34} , которая раскладывается на тангенциальную и нормальную составляющие. Со стороны отброшенной стойки на пятое звено (ползун) в поступательной паре C действует реакция R_{05} , направленная перпендикулярно направляющей.

Тангенциальная составляющая R_{34}^t определяется по формуле (2.1). В принятых для рассматриваемого механизма обозначениях и с учетом того, что на звенья этой группы не действуют внешние силы и внешние моменты, формула (2.1) принимает вид

$$R_{34}^t = \frac{(P_4^y - G_4)CS_4 \cos \varphi_4 - P_4^x CS_4 \sin \varphi_4 - M_4}{CB} =$$

$$= \frac{(34,11 - 19,62) 0,15 (-0,9414) - 407,7 \cdot 0,15 (-0,3372) - 1561}{0,25} = 68,06 \text{ Н.}$$

Нормальная составляющая реакции R_{34} определяется по формуле (2.3), чтобы воспользоваться этой формулой, сначала определим X .

Поскольку в аналитические зависимости не входит внешняя сила, то мы можем включить эту силу в сумму проекций сил на ось Ox , т. е.

$$X = P_4^x + P_5^x + P_{TC} = 407,7 + 181,0 = 588,7,$$

тогда

$$R_{34}^n = \frac{-X - R_{34}^t \sin \varphi_4}{\cos \varphi_4} = \frac{-588,7 - 68,06(-0,3372)}{-0,9414} = 600,9 \text{ Н.}$$

Полная реакция R_{34} , Н, определяется по формуле (2.11):

$$R_{34} = \sqrt{(R_{34}^t)^2 + (R_{34}^n)^2} = \sqrt{(68,06)^2 + (600,9)^2} = 604,74.$$

Реакция R_{34} , Н, в проекциях на координатные оси определяется по формулам (2.7) и (2.8):

$$R_{34}^x = R_{34}^t \sin \varphi_4 + R_{34}^n \cos \varphi_4 = 68,06 (-0,3372) + 600,9 (-0,9414) = -588,7,$$

$$R_{34}^y = R_{34}^n \sin \varphi_4 - R_{34}^t \cos \varphi_4 = 600,9 (-0,3372) - 68,06 (-0,9414) = -138,6.$$

Полная реакция R_{34} , Н, определяется по формуле (2.10):

$$R_{34} = \sqrt{(R_{34}^x)^2 + (R_{34}^y)^2} = \sqrt{(-588,7)^2 + (-138,6)^2} = 604,79.$$

Величина реакции R_{05} , Н, определяется по формуле (2.4). В принятых для рассматриваемого механизма обозначениях и с учетом того, что направляющая, по которой движется ползун, – горизонтальна, т. е. угол направляющей ползуна равен нулю, формула (2.4) приобретает вид

$$R_{05} = \frac{-Y \cos \varphi_4 + X \sin \varphi_4 + R_{34}^t}{\cos \varphi_4} =$$

$$= \frac{-10,57(-0,9414) + 588,7(-0,3372) + 68,06}{-0,9414} = 128,0,$$

здесь X определено ранее, а Y определяется по следующей формуле:

$$Y = P_4 - G_4 - G_5 = 34,11 - 19,6 - 3,92 = 10,57 \text{ Н.}$$

После определения полных реакций R_{34} и R_{05} переходим к расчету группы Ассур 3-й модификации. На *рис. 6.3* представлена группа Ассур 3-й модификации с приложенными к ней силами и моментами. Со стороны отброшенного четвертого звена СВ (шатуна) на третье звено O_2B (коромысло) действует реакция R_{43} , которая равна по величине R_{34} , но противоположна по знаку.

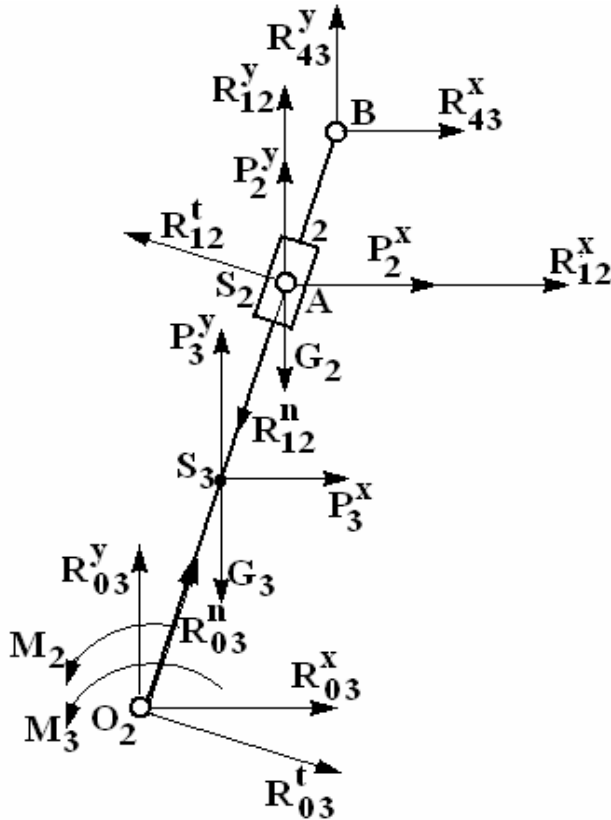


Рис. 6.3. Группа Ассур третьей модификации

При расчете третьей модификации приложим в шарнире В реакцию R_{43} в проекциях на координатные оси R_{43}^x и R_{43}^y . Эти составляющие известны и соответственно равны: $R_{43}^x = 588,7 \text{ Н}$,

$$R_{43}^y = 138,6 \text{ Н.}$$

Со стороны стойки O_2 на третье звено O_2B (коромысло) действует неизвестная реакция R_{03} , которую раскладываем на два направления: R_{03}^t – перпендикулярно и R_{03}^n – параллельно звену O_2B , и по направлениям осей координат R_{03}^x и R_{03}^y .

В шарнире А возникает реакция R_{12} со стороны отброшенного первого звена. Эту реакцию также разложим на два направления: R_{12}^t и R_{12}^n .

Величина реакции R_{03}^t определяется по формуле (3.1). В нашем случае в принятых нами обозначениях эта формула принимает вид

$$R_{03}^t = \frac{M_y \cos \varphi_2 - M_x \sin \varphi_2 - M_2 - M_3}{AB},$$

так как реакции $R_{n3} = R_{43}$, то выражения для M_x и M_y , Нм принимают вид

$$M_x = P_2^x (AO_2 - O_2S_3) + R_{43}^x (AO_2 - BO_2) =$$

$$= 128(0,3122 - 0,1) + 588,7(0,3122 - 0,4) = -24,526,$$

$$M_y = (P_2^x - G_2)(AO_2 - O_2S_3) + R_{43}^y(AO_2 - BO_2) =$$

$$= (17,77 - 24,5)(0,3122 - 0,1) + 138,6(0,3122 - 0,4) = -13,59,$$

тогда

$$R_{03}^t = \frac{M_y \cos \varphi_2 - M_x \sin \varphi_2 - M_2 - M_3}{AB} =$$

$$= \frac{-13,59 \cdot 0,2774 + 24,526 \cdot 0,9608 + 0,708 + 11,8}{0,3122} = 10,34 \text{ Н.}$$

Реакция R_{03}^n , Н, определяется по формуле (3.11):

$$R_{03}^n = -(P_3^y - G_3 + R_{43}^y) \sin \varphi_2 - (P_3^x - R_{43}^x) \cos \varphi_2 =$$

$$= -(17,77 - 24,5 + 138,6)0,9608 - (128 + 588,7)0,2774 = -325,44.$$

Реакция R_{03} , Н, в проекциях на координатные оси

$$R_{03}^x = R_{03}^t \sin \varphi_2 + R_{03}^n \cos \varphi_2 = 103,4 \cdot 0,9608 - 325,44 \cdot 0,2774 = 9,06966,$$

$$R_{03}^y = R_{03}^n \sin \varphi_2 - R_{03}^t \cos \varphi_2 = 325,44 \cdot 0,9608 - 103,4 \cdot 0,2774 = -341,3659.$$

Полная реакция R_{03} , Н, может определяться или через нормальную и тангенциальную составляющие

$$R_{03} = \sqrt{(R_{03}^n)^2 + (R_{03}^t)^2} = \sqrt{103,4^2 + (-325,44)^2} = 341,47,$$

или через проекции на координатные оси:

$$R_{03} = \sqrt{(R_{03}^x)^2 + (R_{03}^y)^2} = \sqrt{9,06966^2 + (-341,5659)^2} = 341,48.$$

Для определения касательной составляющей R_{12}^t воспользуемся формулой (3.2), которая после введения наших обозначений, примет вид

$$R_{12}^t = \frac{M_x \sin \varphi_2 - M_y \cos \varphi_2 - M_2 - M_3}{AO_2},$$

$$\text{где } M_x = P_2^x AO_2 + R_{43}^x BO_2 + P_3^x O_2 S_3 =$$

$$= 102,6 \cdot 0,3122 + 588,7 \cdot 0,4 + 128 \cdot 0,1 = 280,311 \text{ Нм,}$$

$$M_y = (P_2^y - G_2) AO_2 + R_{34}^y BO_2 + (P_3^y - G_3) O_2 S_3 =$$

$$= (59,22 - 2,94)0,3122 + 138,6 \cdot 0,4 + (17,77 - 24,5)0,1 = 72,337 \text{ Нм,}$$

тогда

$$R_{12}^t = \frac{M_x \sin \varphi_2 - M_y \cos \varphi_2 - M_2 - M_3}{AO_2} =$$

$$= \frac{278,8 \cdot 0,9608 - 72,337 \cdot 0,2774 + 11,8 + 0,708}{0,3122} = 838,3 \text{ Н.}$$

Для расчета реакций, действующих на второе звено, ползун 2 рассматривается отдельно (рис. 6.4). Предварительно определяется реакция R_{23} – действия ползуна на направляющую, для чего рассматривается отдельно направляющая без ползуна.

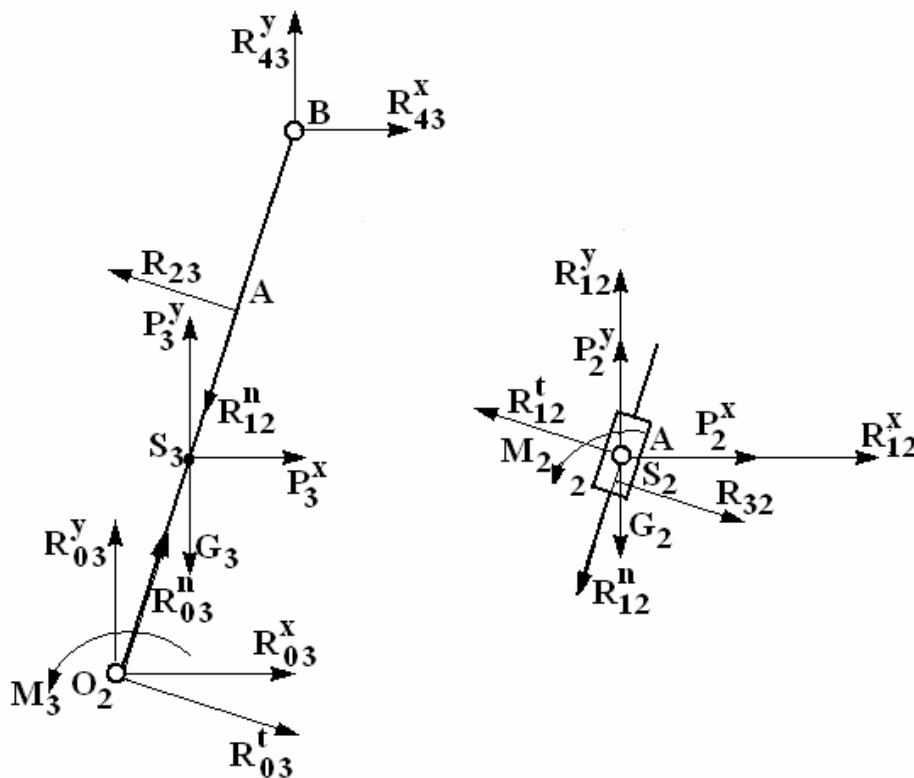


Рис. 6.4. Направляющая и ползун

В принятых нами обозначениях, с учетом действующих в механизме сил, формула (3.3) принимает вид

$$R_{23} = R_{03}^t - (P_3^y - G_3 + R_{43}^y) \cos \varphi_2 + (P_3^x + R_{43}^x) \sin \varphi_2 =$$

$$= 103,4 - (17,77 - 24,5 + 138,6) 0,2774 +$$

$$+ (128 + 588,7) 0,9608 = 755,44 \text{ Н.}$$

Для определения нормальной составляющей реакции R_{12} воспользуемся формулой (3.4). После введения принятых нами обозначений получаем

$$R_{12}^n = (P_2^y - G_2) \sin \varphi_2 + P_2^x \cos \varphi_2 =$$

$$= (59,22 - 2,94)0,9608 + 102,6 \cdot 0,2774 = 82,53 \text{ Н.}$$

Теперь остается только найти полные реакции и их проекции на координатные оси. Полная реакция R_{12} определяется по формуле (3.7):

$$R_{12} = \sqrt{(R_{12}^t)^2 + (R_{12}^n)^2} = \sqrt{838,3^2 + 82,53^2} = 842,35 \text{ Н.}$$

Проекции реакции R_{12} , Н, на координатные оси могут быть определены либо по формулам (3.5) и (3.6):

$$R_{12}^x = -P_2^x - R_{32} \sin \varphi_2 = -102,6 - 755,44 \cdot 0,9608 = -828,42,$$

$$R_{12}^y = -P_2^y + G_2 + R_{32} \cos \varphi_2 = -59,22 + 2,94 + 755,5 \cdot 0,2774 = 153,29,$$

либо через нормальную и тангенциальную составляющие (3.7) и (3.8):

$$R_{12}^x = -R_{12}^t \sin \varphi_2 - R_{12}^n \cos \varphi_2 = -838,3 \cdot 0,9608 - 82,53 \cdot 0,2774 = -828,33,$$

$$R_{12}^y = -R_{12}^n \sin \varphi_2 + R_{12}^t \cos \varphi_2 = -82,53 \cdot 0,9608 + 838,3 \cdot 0,2774 = 153,24.$$

Разница в значениях этих реакций, найденных разными способами, меньше допустимой погрешности ($\pm 2\%$).

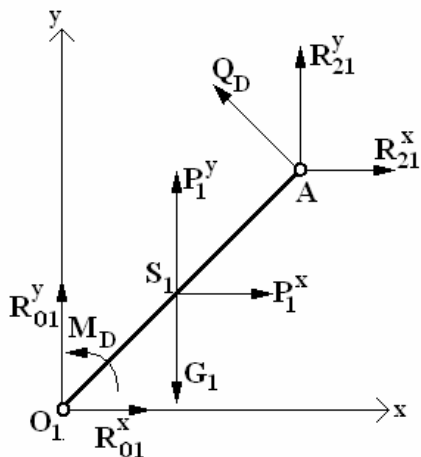


Рис. 6.5. Входное звено

На заключительном этапе проводим расчет ведущего звена.

На рис. 6.5 приведено входное звено с действующими на него силами.

Реакции R_{21}^x и R_{21}^y , Н, фактически определены при расчете группы третьей модификации, т. е.

$$R_{21}^x = -R_{12}^x = 828,42,$$

$$R_{21}^y = -R_{12}^y = 153,29.$$

Движущий момент определяется по формуле (5.2):

$$M_D = R_{21}^x AO_1 \sin \varphi_1 - (R_{21}^y AO_1 - G_1 OS_1) \cos \varphi_1 =$$

$$= 828,42 \cdot 0,1 \cdot 0,5 - (-153,29 \cdot 0,1 - 4,9 \cdot 0,05)0,866 = 54,908 \text{ Нм.}$$

Реакции R_{01}^x и R_{01}^y , Н, определяются соответственно по формулам (5.3) и (5.4):

$$R_{01}^x = -P_1^x - R_{21}^x = -85,473 - 828,42 = -913,893,$$

$$R_{01}^y = -P_1^y + G_1 - R_{21}^y = -49,345 + 4,9 + 153,29 = 108,845.$$

Полная реакция R_{01} , Н:

$$R_{01} = \sqrt{(R_{01}^x)^2 + (R_{01}^y)^2} = \sqrt{(-913,893)^2 + 108,845^2} = 920,351.$$

Движущая сила, Н, определяется по формуле (5.6):

$$Q_D = \frac{R_{21}^x AO_1 \sin \varphi_1 - (R_{21}^y AO_1 - G_1 \cdot O_1 S_1) \cos \varphi_1}{AO_1} =$$

$$= \frac{828,42 \cdot 0,1 \cdot 0,5 - (-153,29 \cdot 0,1 - 4,9 \cdot 0,05) 0,866}{0,1} = 549,08.$$

Реакции R_{01}^x и R_{01}^y , Н, определяются соответственно по формулам (5.7), (5.8):

$$R_{01}^x = Q_D \sin \varphi_1 - P_1^x - R_{21}^x = 549,08 \cdot 0,5 - 85,473 - 828,42 = -639,35,$$

$$R_{01}^y = -Q_D \cos \varphi_1 - P_1^y + G_1 - R_{21}^y =$$

$$= -549,08 \cdot 0,866 - 49,345 + 4,9 + 153,29 = -366,66.$$

Полная реакция R_{01} , Н:

$$R_{01} = \sqrt{(R_{01}^x)^2 + (R_{01}^y)^2} = \sqrt{(-639,35)^2 + (-366,66)^2} = 737,026.$$

7. Проверка расчета на ЭВМ с использованием программы KINSTPR

Программа KINSTPR предназначена для проверки кинематического и кинетостатического расчетов стержневого механизма второго класса, включающего произвольное число групп Ассура.

Программа снабжена системами меню.

Меню ввода данных позволяет осуществить ввод данных, сохранить их по желанию пользователя в виде файла данных для последующего использования, отредактировать уже имеющийся файл данных.

Меню режима работы позволяет выбрать желаемый режим: просмотр мультипликации механизма, редактирование данных, выбор группы Ассура, с которой желательно начать проверку, выбор проверяемых параметров.

Меню вывода результатов счета позволяет выбрать устройство для вывода – файл, принтер, экран дисплея.

Программа снабжена также помощью, которая работает как при вводе данных, так и при проверке расчета. Для обращения к помощи используется клавиша F1.

7.1. Ввод данных в программу KINSTPR

Ввод данных в программу KINSTPR может осуществляться или из файла данных, если он уже сформирован, или с клавиатуры. При первой проверке расчета необходимо ввести данные с клавиатуры, так как файл данных для нашего механизма еще не сформирован, поэтому в меню ввода данных с помощью курсора выбираем пункт *<с клавиатуры>*. Для возможности повторной проверки (в случае неудачи первой попытки) файл данных сохраним (выбором соответствующего пункта меню) и при последующем запросе дадим ему имя KSTPR.dat. При выборе темы расчета - *кинематика* или *кинетостатика* – выбираем пункт *<кинетостатика>*. После установки курсора на выбранный пункт меню нажимается *<Enter>*.

При вводе данных с клавиатуры отвечаем на следующие вопросы, приведенные в таблице.

Таблица

Вопрос	Ответ
Первый раздел – структура механизма	
Число групп Ассур (не считая ведущего звена)	2
Модификация групп Ассура	
1	3
2	2
Структура механизма: 1-я группа, 3-я мод.	
Способ присоединения группы: –если одно из звеньев присоединено к стойке, то 0, –если оба к подвижным звеньям, то 1	0
Количество выходных звеньев	1
Форма сборки: – если ползун присоединен к стойке, то +1 – если к подвижному звену, то –1	1
Номер выходного звена (2 или 3)	3

Структура механизма: 2-я группа 2-я мод. Способ присоединения группы: (для пояснения нажмите F1) при нажатии клавиши F1 получаем: – если ползун присоединяется к стойке, то введите 0 – если шарнир присоединяется к стойке, а ползун к шатуну предыдущей группы, то введите 1 – если шарнир присоединяется к стойке, а ползун - к коромыслу предыдущей группы, то введите 2 –если шарнир присоединяется к коромыслу, а ползун – к шатуну предыдущей группы, то введите 3 – если шарнир присоединяется к шатуну, а ползун к коромыслу предыдущей группы, то введите 4	0
Форма сборки: (+1 или –1) – если ползун движется горизонтально, то введите 0, – если вертикально то 1	1 0
Второй раздел - параметры механизма	
Параметры ведущего звена Число положений ведущего звена Радиус кривошипа Положение центра тяжести кривошипа Масса кривошипа Частота вращения кривошипа	12 0.1 0.05 0.5 10
Исходные данные для 1-й группы Ассура 3-й модификации Введите абсциссу неподвижного шарнира Введите ординату неподвижного шарнира Введите длину кулисы Введите расстояние от шарнира до выходной точки – если оно неизвестно, то введите 0	0 –0.25 0.4
Положение центра тяжести кулисы Масса кулисы Масса ползуна Момент инерции массы кулисы Момент инерции массы ползуна	0.1 2.5 0.3 0.025 0.0015

Исходные данные для 2-й группы Ассура 2-й модификации	
Введите длину шатуна	0.25
Введите ординату ползуна	0.05
Положение центра тяжести шатуна	0.1
Масса шатуна	2
Масса ползуна	0.4
Момент инерции массы шатуна	0.015
Момент инерции массы ползуна	0
Внешние силы	
Число заданных внешних сил	1
Параметры 1-й внешней силы	
Номер группы, к которой приложена сила	2
Номер звена в группе (2 или 3)	3
Горизонтальная проекция силы	100
Вертикальная проекция силы	0
Положение точки на звене – расстояние от входной точки	0
Внешние моменты	
Число заданных внешних моментов	0

На этом ввод данных окончен.

Переходим к просмотру мультипликации. Убеждаемся в том, что механизм собран правильно, и приступаем к проверке расчета. В меню предлагается выбор темы проверки: только кинематика, только кинетостатика, кинематика и кинетостатика. Выбираем только кинетостатику.

Поскольку проверка проводится в первый раз, то целесообразно провести полную проверку, поэтому в меню выбора начала проверки выбираем 2-ю группу 2-й модификации. Проверяем силы и моменты инерции.

7.2. Проверка расчета

На запрос: Введите значение угла ϕ_1 (в градусах) вводим 30 (<Enter>).
Начинается проверка последней группы Ассура – второй модификации.

Вопрос: *Введите силу инерции P_{in2x} для группы Ассура 2.*

Как уже говорилось ранее, вторым звеном в группе второй модификации в программе обозначен шатун. В наших

обозначениях это четвертое звено, т. е.

мы должны ввести значение: R_4^x

Вводим 407.7 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите силу инерции R_{in2y} для группы Ассура 2

Вводим 34.11 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите момент инерции M_{in2} для группы Ассура 2

Имеется ввиду момент инерционных сил четвертого звена, т. е. M_4

Вводим 1.561 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите силу инерции R_{in3x} для группы Ассура 2

В наших обозначениях это пятое звено, т. е. мы должны ввести значение R_5

Вводим 81 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите силу инерции R_{in3y} для группы Ассура 2

Вводим 0 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите момент инерции M_{in3} для группы Ассура 2

Вводим 0 (Диагноз: правильно)

Далее предлагается проверить нормальные и тангенциальные составляющие реакций. Проверяем.

Вопрос: Введите реакцию R_{12t} (в шарнире) для группы Ассура 2

В наших обозначениях речь идет о реакции R_{34}^t

Вводим 68.06 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{12n} (в шарнире) для группы Ассура 2

В наших обозначениях это R_{34}^n

Вводим 600.9 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{12} для группы Ассура 2

Вводим 604.8 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию в поступательной паре для группы Ассура 2

Имеется ввиду реакция R_{05}

Вводим 128.0 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{12x} для группы Ассура 2

В наших обозначениях это R_{34}^x

Вводим -588.7 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{12y} для группы Ассура 2

Вводим -138.6 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{03x} для группы Ассура 2

В наших обозначениях это R_{05}^x , но эта составляющая равна 0, так как реакция

R_{05} вертикальна.

Вводим 0 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{03y} для группы Ассура 2

Это реакция R_{05}

Вводим 128.0 (Диагноз: правильно)

Проверка последней группы закончена.

Вопрос: Введите силу инерции P_{in2x} для группы Ассура I

Вторым звеном в группе третьей модификации является кулиса. В наших обозначениях это третье звено.

Вводим 128.0 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите силу инерции P_{in2y} для группы Ассура I

Вводим 17.77 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите момент инерции M_{in2} для группы Ассура I

Вводим -11.8 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите силу инерции P_{in3x} для группы Ассура I

В наших обозначениях это P_2^x

Вводим 102.6 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите силу инерции P_{in3y} для группы Ассура I

Вводим 59.22 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите момент инерции M_{in3} для группы Ассура I

Вводим -0.708 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{12t} для группы Ассура I

В наших обозначениях это реакция R_{03}^t

Вводим 103.4 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{12n} для группы Ассура I

Вводим -325.44 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{12} для группы Ассура I

Вводим 341.47 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{03t} для группы Ассура I

В наших обозначениях это реакция R_{12}^t

Вводим 838.3 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{03n} для группы Ассура I

Вводим 82.53 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{03} для группы Ассура I

Вводим 842.35 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{12x} для группы Ассура I

Вводим 9.0696 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{12y} для группы Ассура I

Вводим -341.36 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{03x} для группы Ассура I

Вводим -828.33 (Диагноз: правильно)

Вопрос: Введите реакцию R_{03y} для группы Ассура I

Вводим 153.24 (Диагноз: правильно)

Переходим к проверке ведущего звена.

При расчете движущего момента:

Вопрос: *Введите движущий момент M_D*

Вводим 54.908 (Диагноз: *правильно*)

Вопрос: *Введите реакцию R_{01x}*

Вводим - 913.893 (Диагноз: *правильно*)

Вопрос: *Введите реакцию R_{01y}*

Вводим 108.845 (Диагноз: *правильно*)

При расчете движущей силы:

Вопрос: *Введите движущую силу Q_{dv}*

Вводим 549.08 (Диагноз: *правильно*)

Вопрос: *Введите реакцию R_{01x}*

Вводим - 639.35 (Диагноз: *правильно*)

Вопрос: *Введите реакцию R_{01y}*

Вводим - 366.66 (Диагноз: *правильно*)

Проверка расчета закончена – можно
получать распечатку счета для построения
годографов сил.

Примечание. Поскольку программа проверки кинетостатического расчета постоянно совершенствуется, то в ней могут появиться некоторые отличия от приведенной выше.