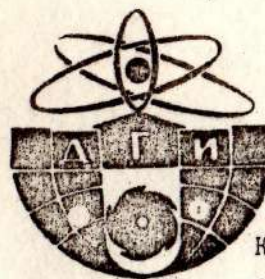


Бесплатно

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Днепропетровский ордена Трудового Красного Знамени
горный институт им. Артема

Днепродзержинский ордена Трудового Красного Знамени
индустриальный институт им. М. И. Арсеничева



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ "РАСЧЕТ
КИНЕМАТИКИ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА
АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ"
ПО ДИСЦИПЛИНЕ "ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА"
для студентов механических специальностей

Днепропетровск ДГИ
1990

Министерство высшего и среднего специального
образования УССР

Днепропетровский ордена Трудового Красного Знамени
горный институт им. Артема

Днепродзержинский ордена Трудового Красного Знамени
индустриальный институт им. М.И. Арсеничева

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ "РАСЧЕТ
КИНЕМАТИКИ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА
АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ"
ПО ДИСЦИПЛИНЕ "ТЕОРИТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА"

для студентов механических
специальностей

Утверждено
на заседании кафедр
теоретической механики
Протокол № 13
от 07.05.90

Днепропетровск ДГИ
1990

Методические указания к выполнению домашнего задания

"Расчет кинематики кривошипно-шатунного механизма аналитическим методом с применением ЭВМ" по дисциплине "Теоретическая механика" для студентов механических специальностей / Сост.: В.А.Ропай, Л.В.Колосов. – Днепропетровск: ДИИ, 1990. – 41 с.

Составители: В. А. Ропай, канд. техн. наук, доц.

Л. В. Колосов, докт. техн. наук, проф.

Ответственный за выпуск зав. кафедрой строительной и теоретической механики В. И. Онищенко, канд. физ.-мат. наук, проф.

ВВЕДЕНИЕ

В первой части методических указаний помещены сведения о связях из раздела "Аналитическая механика", обобщенных координатах, числе степеней свободы механической системы. Эти сведения обычно сообщаются студентам очень кратко в конце изучения курса теоретической механики. Широкое внедрение ЭВМ в учебный процесс требует пересмотра порядка изложения традиционного курса и более детального изучения аналитических методов.

Во второй части методических указаний на примере механизма с одной степенью свободы – кривошипно-шатунного механизма – показан выбор обобщенной координаты и получены выражения для координат скоростей и ускорений характерных точек и звеньев механизма через обобщенную координату и ее производные с помощью уравнений связей. Полученные выражения позволяют исследовать кинематику механизма при любом заданном законе изменения во времени обобщенной координаты. В данной работе рассмотрены режим разгона механизма из состояния покоя из заданного положения при равноускоренном вращении кривошипа, режим движения механизма при постоянной угловой скорости вращения кривошипа и режим остановки механизма при равнозамедленном вращении кривошипа.

Приводится программа вычислений для ЭВМ на языке Бейсик. Программа позволяет в диалоговом режиме вводить данные и разбивать весь период движения на любое желаемое число точек по времени.

Показан числовой пример выполнения одного варианта задания, по результатам численного счета построены графики изменения во времени скоростей и ускорений характерных точек механизма.

Приведена таблица данных для 30 вариантов заданий. Рекомендуем выполнить расчет предлагаемым аналитическим методом и для одного положения механизма (заданного преподавателем) найти графическим методом скорости и ускорения точек В и С механизма.

Варианты заданий подобраны так, чтобы решения нескольких вариантов можно было объединить и произвести анализ влияния на кинематику механизма таких параметров, как размеры кривошипа и шатуна (их соотношение), положение точки С на шатуне, угловая скорость кривошипа.

I. СВЯЗИ

I.1. Понятие о связях

Механической системой называется совокупность материальных точек и твердых тел, в которой положение и движение каждой из них определяется движением и положением остальных точек.

Механические системы бывают свободные и связанные. Свободная система состоит из точек, каждая из которой может совершить любое движение (при наличии соответствующих сил). Примером может служить солнечная система. Любая из составляющих ее планет может изменить свое движение при наличии соответствующих сил, например, силы притяжения появившейся из космоса кометы.

Гораздо чаще мы имеем дело со связанными системами, в которых движение различных элементов ограничено. Ограничения, наложенные на движение элементов механической системы, называются "связями". Связи физически реализуются при помощи подвижных и неподвижных твердых тел, а математически описываются уравнениями или неравенствами. Если аналитическим выражением связи является уравнение, то она называется удерживающей. Такая связь, препятствуя некоторому перемещению точки системы, препятствует также ее противоположному перемещению. Если же аналитическим выражением связи является неравенство, то она называется неудерживающей. Такая связь, препятствуя некоторому перемещению точки, не препятствует противоположному перемещению ее. Пример (рис. I.1).

I. Точки А и В соединены стержнем. При движении системы в пло-

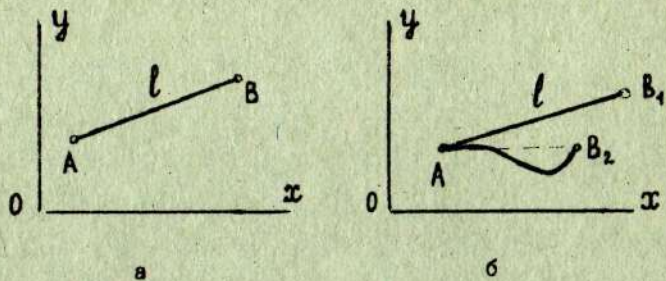


Рис. I.1

скости Oxy эта связь описывается уравнением (рис. I.1,а)

$$(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 = l^2. \quad (I.1)$$

Расстояние АВ остается неизменным, оно не может ни увеличиться, ни уменьшиться. Эта связь удерживающая.

2. Точки А и В соединены гибкой нитью. Если нить натянута (АВ), то имеет место уравнение (I.1). Если же не натянута (АВ), то

$$(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 \leq l^2. \quad (I.2)$$

Эта связь удерживающая. Она препятствует удалению точек А и В, но не препятствует их сближению (рис. I.1,б).

В дальнейшем мы будем рассматривать только удерживающие связи. Это оправдывается тем, что в большинстве случаев активные силы как бы "закрывают" открытую сторону не удерживающей связи и позволяют рассматривать ее как удерживающую. Так, например, рельсы для вагона в вертикальном направлении хотя и представляют собой удерживающую связь (вагон можно поднять краном), тем не менее вследствие значительного веса вагона при обычном движении его можно не учитывать открытую сторону этой связи.

Связи в зависимости от их характера можно разделить на стационарные (их еще называют склерономные) и нестационарные (реономные). В уравнение стационарной связи время t явно не входит (это уравнение имеет вид $f(x_i, y_i, z_i) = 0$), в уравнение же нестационарной связи оно входит явно, уравнение такой связи имеет вид $f(x_i, y_i, z_i, t) = 0$. Нестационарные связи реализуются при помощи подвижных твердых тел. Например, если груз может перемещаться по горизонтальной платформе, равномерно поднимающейся со скоростью V (рис. I.2), то уравнение этой связи имеет вид $z = Vt$ (x и y могут здесь меняться произвольным образом).

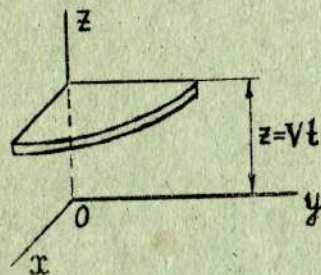


Рис. I.2

В противоположность этому стационарная связь может быть реализована при помощи неподвижной поверхности.

Рассмотрим, например, математический маятник (рис. I.3,а) Груз М движется по окружности $x^2 + y^2 = l^2$.

Движение груза не изменится, если мы подвижную нить заменим гладкой трубкой радиусом l (рис. I.3,б).

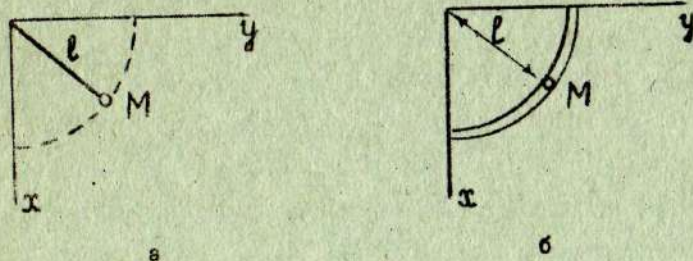


Рис. I.3

До сих пор мы рассматривали связи, в уравнения которых входили только координаты и время. Такие связи, накладывающие ограничения только на положение (конфигурацию) механической системы, называются геометрическими. Кроме того, встречаются связи, накладывающие ограничения на скорости различных элементов системы. Такие связи называются кинематическими. Они описываются уравнениями вида:

$$f(x_i, y_i, z_i, \dot{x}_i, \dot{y}_i, \dot{z}_i) = 0$$

или

$$f(x_i, y_i, z_i, \dot{x}_i, \dot{y}_i, \dot{z}_i, t) = 0.$$

Примером может служить колесо, катящееся без скольжения по плоскости (рис. I.4). Положение его в плоскости определяется тремя величинами: координатами центра x_c, y_c и углом поворота φ .

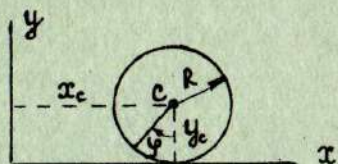


Рис. I.4

Эти величины не являются независимыми. Уравнения связи имеют вид:

$$y_c = R; \quad (I.3)$$

$$V_c = \omega R \text{ или } \dot{x}_c = \dot{\varphi} R, \quad (I.4)$$

где выражение (I.3) представляет собой уравнение геометрической связи, а (I.4) - уравнение кинематической связи. В данном случае дифференциальное уравнение кинематической связи может быть проинтегрировано, после чего оно приобретает вид $x_c = \varphi R + C$ (постоянная C зависит от положения начала координат). Между геометрическими и интегрируемыми кинематическими связями нет принципиального различия. Они могут быть описаны конечным (недифференциальным) уравнением и поэтому объеди-

няются в одну категорию - голономные связи.

Часто встречается кинематические связи, аналитическим выражением которых является неинтегрируемое дифференциальное уравнение. Эти связи называются неголономными.

Термины "голономные и неголономные" связи и механические системы ввел известный физик и механик Г.Герц в 1894 году. Он подробно проанализировал понятие "возможных перемещений" и впервые указал на существование неинтегрируемых дифференциальных зависимостей между координатами системы, приводящих к зависимостям между возможными перемещениями.

Примером неголономной системы могут служить сани (коньки) (рис. I.5). Конструкция полозов их такова, что допускает продольное (по направлению AB) скольжение и вращение (вращение вокруг C), Запрещенным является боковое скольжение (по направлению CN). Это условие заключается в том, что проекция скорости точки C на направление CN должна быть

равна нулю. Но

$$V_n = \dot{y}_c \cos \varphi - \dot{x}_c \sin \varphi.$$

Следовательно, кинематическая связь, не допускающая V_n , описывается уравнением

$$\dot{y}_c \cos \varphi - \dot{x}_c \sin \varphi = 0. \quad (I.5)$$

Это уравнение неинтегрируемое (связь неголономная). Покажем это.

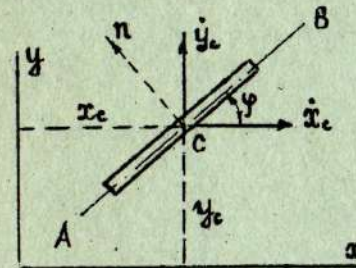


Рис. I.5

Предположим противное, а именно, что (I.5) допускает интеграл

$$f(x, y, \varphi) = C. \quad (I.6)$$

Тогда, дифференцируя (I.6), мы должны получить тождественно (I.5), т. е.

$$\frac{\partial f}{\partial x} \dot{x} + \frac{\partial f}{\partial y} \dot{y} + \frac{\partial f}{\partial \varphi} \dot{\varphi} = -\sin \varphi \cdot \dot{x} + \cos \varphi \cdot \dot{y} + 0 \cdot \dot{\varphi} = 0.$$

Приравнявая коэффициенты при одинаковых производных, получим

$$\frac{\partial f}{\partial x} = -\sin \varphi; \quad \frac{\partial f}{\partial y} = \cos \varphi; \quad \frac{\partial f}{\partial \varphi} = 0.$$

Продифференцировав первое из них по φ , а третье по x , получим

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial \varphi} = -\cos \varphi; \quad \frac{\partial^2 f}{\partial \varphi \partial x} = 0,$$

т.е.
$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial \varphi} \neq \frac{\partial^2 f}{\partial \varphi \partial x}.$$

Таким образом, предположение об интегрируемости (I.5) привело нас к противоречию с теоремой о равенстве смешанных производных. Следовательно, это уравнение является аналитическим выражением неголономной связи.

I.2. Обобщенные координаты, число степеней свободы

Обобщенными координатами механической системы называются независимые величины, определяющие положение (конфигурацию) системы в любой момент времени. Обобщенные координаты принято обозначать через q_i .

Мы традиционно привыкли к частому использованию

декартовых координат для определения положения точек системы. Если механическая система состоит из n материальных точек, положение каждой из которых определяется в пространстве трех измерений координатами $x_1, y_1, z_1; x_2, y_2, z_2; \dots, x_n, y_n, z_n$, то для определения положения механической системы надо знать $3n$ координат. Но, если система несвободна, координаты ее точек в силу наложенных связей будут удовлетворять каким-то уравнениям (уравнениям связей) и число независимых между собой координат будет меньше $3n$.

Например, для шарика A , вынужденного оставаться на некоторой горизонтальной плоскости (рис. I.6) при выбранной системе отсчета, уравнение связи имеет вид $z = 0$ и положение точки A на плоскости может быть определено двумя независи-

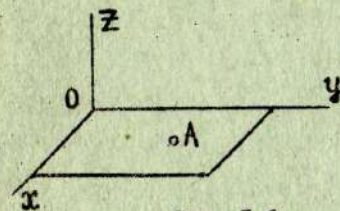


Рис. I.6

мыми координатами x_A и y_A , которые следует принять за обобщенные, $q_1 = x_A, q_2 = y_A$.

Если материальная точка A , кроме того, связана с началом отсчета O стержнем OA длины l (рис. I.7), то на точку A наложены две

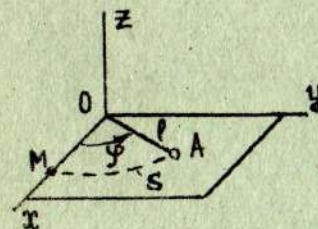


Рис. I.7

связи, уравнения которых:

$$z_A = 0; \\ x_A^2 + y_A^2 = l^2.$$

Таким образом, независимой координатой будет только одна: или x_A , тогда y_A определится из второго уравнения связи; или y_A , тогда x_A получим из того же уравнения

связи. Поэтому за обобщенную координату можно принять или $x_A = q_1$, или $y_A = q_1$, или угол φ , образуемый стержнем OA с осью x , $\varphi = q_1$. Тогда декартовы координаты точки A будут:

$$z_A = 0; x_A = l \cos \varphi; y_A = l \sin \varphi.$$

Независимой величиной является только φ . Можно здесь в качестве обобщенной координаты выбрать длину S дуги AM или площадь σ сектора AOM , указав во всех случаях положительное и отрицательное направления отсчета соответствующей координаты.

Таким образом, для одной и той же системы выбор обобщенных координат можно производить по-разному, а сами координаты могут при этом быть параметрами разных размерностей, такими, как угол (безразмерная величина), длина, площадь, объем и др. Удачный выбор обобщенной координаты может иногда значительно упростить, облегчить решение задачи. Это будет показано ниже.

Мы рассмотрели примеры геометрических связей и увидели, что каждая геометрическая связь выражается уравнением и уменьшает число независимых координат системы на единицу. Поэтому у системы, состоящей из n материальных точек, на которую наложено K геометрических связей, будет $S = 3n - K$ независимых координат. Каждая геометрическая связь выражается математическим уравнением, связывающим координаты точек системы, на которые эта связь наложена. В общем случае это уравнение связи имеет вид:

$$f(x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, \dots, x_n, y_n, z_n) = 0. \quad (I.7)$$

Числом степеней свободы механической системы называется число независимых возможных перемещений этой системы.

Одна свободная материальная точка имеет три независимых возможных перемещения $\delta x, \delta y, \delta z$, следовательно, три степени свободы. Точка на плоскости xOy (рис. I.6) — два независимых возможных перемещения $\delta x, \delta y$ (две степени свободы). Точка A на плоскости xOy , связанная с точкой O стержнем длины l — одно независимое перемещение: или δx , или δy (одну степень свободы) (рис. I.7).

Если системе, на которую наложена геометрическая связь вида (I.7), сообщить возможное перемещение, то координаты ее точек станут равны $x_1 + \delta x_1, y_1 + \delta y_1, \dots, z_n + \delta z_n$ и будут по-прежнему удовлетворять уравнению (I.7), т.е.

$$f(x_1 + \delta x_1, y_1 + \delta y_1, \dots, z_n + \delta z_n) = 0. \quad (I.8)$$

Разлагая это выражение в ряд Тейлора и сохраняя член первого порядка малости, получим

$$f(x_1, y_1, z_1, \dots, z_n) + \frac{\partial f}{\partial x_1} \delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial y_1} \delta y_1 + \dots + \frac{\partial f}{\partial z_n} \delta z_n = 0. \quad (I.9)$$

Так как согласно равенству (I.7) $f(x_1, y_1, z_1, \dots, z_n) = 0$, то в результате найдем, что возможные перемещения точек системы, на которую наложена связь вида (I.7), удовлетворяют соотношению

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} \delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial y_1} \delta y_1 + \frac{\partial f}{\partial z_1} \delta z_1 + \dots + \frac{\partial f}{\partial z_n} \delta z_n = 0. \quad (I.10)$$

Пользуясь этим соотношением, можно одно из возможных перемещений, например, δz_n , выразить через все остальные.

Таким образом, каждая геометрическая связь вида (I.7) приводит к соотношению (I.10), т.е. уменьшает число независимых перемещений точек системы на единицу. В результате для системы, состоящей из n материальных точек, на которую наложено K геометрических связей, будем иметь $S = 3n - K$

независимых возможных перемещений, т.е. эта система будет иметь S степеней свободы. Следовательно, у системы с геометрическими связями число независимых между собой координат точек системы равно числу степеней свободы системы и наоборот.

Поэтому число степеней свободы такой системы можно определять или по числу независимых возможных перемещений, или по числу независимых координат (обобщенных координат). Механическую систему, конфигурация которой определяется S обобщенными координатами, можно рассматривать как точку в S -мерном пространстве, положение которой определяется S -компонентным вектором-столбцом $\vec{q} = [q_1, q_2, \dots, q_s]^T$ (штрих означает транспонированную матрицу). С точки зрения аналитической механики возможное перемещение системы представляет собой вектор $\delta \vec{q} = [\delta q_1, \delta q_2, \dots, \delta q_s]^T$, т.е. вектор изохронных (в данный момент времени) вариаций обобщенных координат. Если механическая система подчинена голономным (геометрическим и интегрируемым кинематическим) связям, то, как показано выше, независимым координатам q_i соответствуют независимые вариации δq_i . В этом случае точку, определяемую вектором \vec{q} , можно рассматривать как свободную.

Если же механическая система не голономная, то независимым обобщенным координатам q_i соответствуют зависимые вариации координат δq_i (напомним, что не голономные связи не накладывают ограничений на конфигурацию системы, но накладывают на возможные перемещения). Значит, для не голономной системы число степеней свободы меньше числа независимых (обобщенных) координат на число не голономных связей. В этом случае механическую систему нельзя рассматривать как свободную точку в S -мерном пространстве. При исследовании ее движения, кроме активных сил, приходится учитывать реакции не голономных связей.

В данной работе мы не будем касаться вопросов динамики не голономных механических систем - это один из больших и сложных разделов курса аналитической механики. Ограничимся только несколькими замечаниями общего характера. Механика не голономных систем оформилась как самостоятельный раздел механики в 1894 году в книге известного физика и механика Г. Герца (1857-1894). Он подробно проанализировал понятие "возможных перемещений" и впервые указал на существование неинтегрируемых дифференциальных зависимостей между координатами системы, приводящих к зависимостям между возможными перемещениями. Ему принадлежат термины "голономные" и "не голономные" системы.

Работа Герца послужила началом дальнейшего развития этой области механики. В настоящее время для исследования динамики не голономных систем используются уравнения с неопределенными множителями Лагранжа, уравнения Аппеля, уравнения Ценова, уравнения Чаплыгина, уравнения Воронца, уравнения Больцмана-Гамиеля. Для подробного изучения этого вопроса можем рекомендовать учебник Добронравова В.В. "Основы механики не голоном-

ных систем". Учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1970.

В дальнейшем будем рассматривать голономные системы. Если такая система имеет S степеней свободы, то ее положение будет определяться S обобщенными координатами q_1, q_2, \dots, q_s . Поскольку параметры q_i однозначно определяют положение системы, то декартовы координаты x_i, y_i, z_i любой из точек системы можно выразить через обобщенные координаты в виде:

$$\begin{aligned} x_i &= x_i(q_1, q_2, \dots, q_s, t); \\ y_i &= y_i(q_1, q_2, \dots, q_s, t); \\ z_i &= z_i(q_1, q_2, \dots, q_s, t). \end{aligned} \quad (I. II)$$

Время t входит в эти зависимости в том случае, если связи нестационарные. Радиус-вектор любой точки

$$\bar{r}_i = x_i \bar{i} + y_i \bar{j} + z_i \bar{k}, \quad (I. I2)$$

как следует из (I. II), можно выразить через обобщенные координаты

$$\bar{r}_i = \bar{r}_i(q_1, q_2, q_3, \dots, q_s, t). \quad (I. I3)$$

При движении системы обобщенные координаты будут с течением времени изменяться, т. е. будут представлять собой некоторые функции времени. Производные от обобщенных координат по времени называют обобщенными скоростями:

$$\frac{dq_i}{dt} = \dot{q}_i. \quad (I. I4)$$

Размерность обобщенной скорости зависит от размерности выбранной обобщенной координаты: если q - линейная величина, то \dot{q} - линейная скорость; если q - угол, то \dot{q} - угловая скорость; если q - площадь, то \dot{q} - секторальная скорость.

2. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОБОБЩЕННЫХ КООРДИНАТ К ИССЛЕДОВАНИЮ КИНЕМАТИКИ МЕХАНИЗМА

Любой механизм - это механическая система с определенным числом степеней свободы. Выбрав обобщенные координаты, можно с помощью уравнений связей выразить через них декартовы координаты характерных (или интересующих нас) точек механизма (см. выражения I. II) и углы, определяющие положения звеньев. Задаваясь определенным законом изменения во времени обобщенных координат, можем исследовать кинематику механизма, т. е. получить для разных моментов времени и для различных положений механизма координаты, скорости и ускорения интересующих точек и звеньев.

Покажем это на примере кривошипно-шатунного механизма (рис. 2. I). Кривошипно-шатунный механизм, его называют еще кривошипно-ползунным, - это рычажный четырехзвенный механизм, состоящий из кривошипа OA, шатуна AB, ползуна B и неподвижной направляющей B₁B₂.

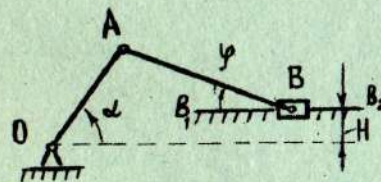


Рис. 2. I

Напомним, что этот механизм очень широко применяется в двигателях внутреннего сгорания, прессах и насосах и др. Он служит для преобразования вращательного движения кривошипа OA в поступательное (иногда говорят "возвратно-поступательное") движение ползуна B . Или, наоборот, возвратно-поступательное движение ползуна B — во вращательное движение кривошипа A .

Условиями существования механизма являются следующие соотношения:

$$OA \leq AB; \quad H > AB - 2OA.$$

Крайние положения ползуна B получаются, когда шарниры O, A, B располагаются на одной прямой.

При изучении кинематики механизма мы не рассматриваем действующие на него силы. Определим вначале число степеней свободы механизма и выберем обобщенные координаты. Обозначим размер $AB = l$.

Все звенья механизма расположены в одной плоскости и соединены тремя шарнирами O, A, B , положение которых в плоскости определяется шестью координатами $x_o, y_o, x_A, y_A, x_B, y_B$.

На механизм наложены геометрические связи, уравнения которых:

$$\begin{aligned} x_o &= 0; \\ y_o &= 0; \\ x_A^2 + y_A^2 &= OA^2; \\ (x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 &= l^2; \\ y_B &= H. \end{aligned} \quad (2.1)$$

На шесть координат наложено 5 связей, следовательно, одна координата независимая, а координаты остальных шарниров могут быть вычислены через принятую независимую (обобщенную)

координату с помощью записанных уравнений связей (2.1). Система имеет одну степень свободы. Например, примем за обобщенную координату $q = x_A$, тогда положение механизма определится через эту координату так:

$$\begin{aligned} x_o &= 0; \\ y_o &= 0; \\ y_A &= \sqrt{OA^2 - q^2}; \\ x_B &= q + \sqrt{l^2 - (y_A - H)^2}; \\ y_B &= H. \end{aligned} \quad (2.2)$$

В качестве обобщенной координаты можно принять также $q = y_A$, или $q = x_B$, или $q = \alpha$.

Остановимся на последнем варианте, принимаем α — угол, определяющий положение кривошипа (положительное направление отсчета угла показано на рис. 2.1).

Положения шарниров O, A, B (их шесть координат) определяются через обобщенную координату следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} (a) \quad x_o &= 0; \\ (б) \quad y_o &= 0; \\ (в) \quad x_A &= OA \cos q; \\ (г) \quad y_A &= OA \sin q; \\ (д) \quad x_B &= OA \cos q + \sqrt{l^2 - (OA \sin q - H)^2}; \\ (е) \quad y_B &= H. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Пусть необходимо также оценить кинематические характеристики движения некоторой точки C на шатуне AB (задано расстояние AC) и вращательного движения шатуна AB . Напомним, что шатун совершает плоско-параллельное движение,

его вращательная часть будет характеризоваться углом φ , положительное направление этого угла показано на рис. 2.1 (по часовой стрелке).

В дополнение к уравнениям (2.3) можем дописать:

$$(ж) \quad x_c = x_A + AC \cdot \cos \varphi;$$

$$(з) \quad y_c = y_A - AC \cdot \sin \varphi;$$

$$(и) \quad \varphi = \arctg \frac{OA \sin q - H}{\sqrt{l^2 - (OA \sin q - H)^2}}.$$

Подстановка в (2.3 ж, з) выражений для x_A, y_A и φ из (2.3 в, г, и) позволит выразить координаты x_c, y_c через обобщенную координату q .

Поскольку мы решили вычислять значения угла φ (выражение (2.3 и)), то координату x_B , т. е. выражение (2.3 д) мы можем записать в виде

$$x_B = x_A + l \cos \varphi.$$

Дифференцируя выражения (2.3) в общем виде, получим выражения для скоростей выбранных точек механизма и угловой скорости шатуна:

$$(а) \quad \dot{x}_o = 0;$$

$$(б) \quad \dot{y}_o = 0;$$

$$(в) \quad \dot{x}_A = -OA \sin q \cdot \dot{q};$$

$$(г) \quad \dot{y}_A = OA \cos q \cdot \dot{q};$$

$$(д) \quad \dot{x}_B = \dot{x}_A - l \sin \varphi \cdot \dot{\varphi};$$

$$(е) \quad \dot{y}_B = 0;$$

$$(ж) \quad \dot{x}_c = \dot{x}_A - AC \cdot \sin \varphi \cdot \dot{\varphi};$$

$$V_o = 0;$$

$$V_A = \sqrt{\dot{x}_A^2 + \dot{y}_A^2}; \quad (2.4)$$

$$V_B = |\dot{x}_B|;$$

$$(з) \quad \dot{y}_c = \dot{y}_A - AC \cdot \cos \varphi \cdot \dot{\varphi}, \quad V_c = \sqrt{\dot{x}_c^2 + \dot{y}_c^2};$$

$$(и) \quad \omega_{AB} = \dot{\varphi} = \frac{OA \cdot \cos q \cdot \dot{q}}{\sqrt{l^2 - (OA \sin q - H)^2}}.$$

Выражения для ускорений получим дифференцированием выражений (2.4):

$$(а) \quad \ddot{x}_o = 0;$$

$$(б) \quad \ddot{y}_o = 0;$$

$$(в) \quad \ddot{x}_A = -OA (\cos q \cdot \dot{q}^2 + \sin q \cdot \ddot{q});$$

$$(г) \quad \ddot{y}_A = OA (-\sin q \cdot \dot{q}^2 + \cos q \cdot \ddot{q}), \quad a_A = \sqrt{\ddot{x}_A^2 + \ddot{y}_A^2};$$

$$(д) \quad \ddot{x}_B = \ddot{x}_A - l (\cos \varphi \cdot \dot{\varphi}^2 + \sin \varphi \cdot \ddot{\varphi}); \quad (2.5)$$

$$(е) \quad \ddot{y}_B = 0, \quad a_B = |\ddot{x}_B|;$$

$$(ж) \quad \ddot{x}_c = \ddot{x}_A - AC (\cos \varphi \cdot \dot{\varphi}^2 + \sin \varphi \cdot \ddot{\varphi});$$

$$(з) \quad \ddot{y}_c = \ddot{y}_A - AC (-\sin \varphi \cdot \dot{\varphi}^2 + \cos \varphi \cdot \ddot{\varphi}), \quad a_c = \sqrt{\ddot{x}_c^2 + \ddot{y}_c^2};$$

$$(и) \quad \varepsilon_{AB} = \ddot{\varphi} = \frac{OA}{(l^2 - (OA \sin q - H)^2)^{3/2}} \left[(\ddot{q} \cos q - \dot{q}^2 \sin q) \cdot (l^2 - (OA \sin q - H)^2) + OA \cos^2 q \cdot \dot{q}^2 (OA \sin q - H) \right].$$

Напомним, что принято положительное направление отсчета угла φ по часовой стрелке, следовательно, такое же положительное направление и ω_{AB} и ε_{AB} , а положительное направление изменения обобщенной координаты q - против хода часовой стрелки.

Зададимся законом изменения обобщенной координаты.

I. Рассмотрим режим разгона механизма из некоторого начального положения ($q_0 = \alpha_0, \dot{q}_0 = \omega_0$) при равноускоренном вращении кривошипа $\ddot{q} = \varepsilon_1 = \text{const}$.

$$\begin{aligned}\ddot{q}_{V(1)} &= \varepsilon_1; \\ \dot{q}_{V(1)} &= \dot{q}_{V(01)} + \varepsilon_1 t; \\ q_{V(1)} &= q_{V(01)} + \dot{q}_{V(01)} t + \frac{\varepsilon_1 t^2}{2}.\end{aligned}\quad (2.6)$$

2. При равномерном вращении кривошипа уравнения движения имеют вид

$$\begin{aligned}\ddot{q}_{V(2)} &= 0; \\ \dot{q}_{V(2)} &= \omega_2; \\ q_{V(2)} &= q_{V(02)} + \omega_2 t.\end{aligned}\quad (2.7)$$

3. При замедленном вращении кривошипа из некоторого начального положения

$$\begin{aligned}\ddot{q}_{V(3)} &= -\varepsilon_3; \\ \dot{q}_{V(3)} &= \dot{q}_{V(03)} - \varepsilon_3 t; \\ q_{V(3)} &= q_{V(03)} + \dot{q}_{V(03)} t - \frac{\varepsilon_3 t^2}{2}.\end{aligned}\quad (2.8)$$

Можно рассматривать каждый режим движения отдельно, но мы решили их объединить, т.е. полагать кинематические характеристики изменения обобщенной координаты и ее производной в конце предыдущего режима движения начальными условиями для последующего.

Поэтому исходными условиями задания являются геометрические размеры: OA , $AB=l$, AC , H и кинематические параметры q_0 , ε_1 , ω_2 , ε_3 (см. табл. вариантов заданий). Во всех вариантах рекомендуется полагать в начале нулю начальную скорость кривошипа $\dot{q}_{V(01)} = 0$ и принимать время вращения кривошипа с постоянной угловой скоростью $t_2 = T$.

На участке разгона до $\dot{q}_1 = \omega_2$ с угловым ускорением ε_1

интервал времени $0 \leq t \leq t_1 = \frac{\omega_2 - \dot{q}_{01}}{\varepsilon_1}$ можно разбить на любое число частей $N1$ и для каждого t_i ($i=1, 2, 3, \dots, N1$) вычислить значения обобщенной координаты и ее скорости по формулам (2.6), а затем все остальные параметры по формулам (2.3), (2.4) и (2.5).

При равномерном вращении кривошипа в выражениях (2.7) будем полагать $q_{V(02)} = q_{V(1)}$, $\dot{q}_{V(02)} = \omega_2$ при $t_i = t_1$ ($t_{2i} = 0$). Принимаемый интервал времени $0 \leq t \leq t_2$ разбиваем на $N2$ частей и опять повторяем процесс вычисления для каждого момента времени t_{2i} значений обобщенной координаты и ее скорости по формулам (2.7) и значений остальных параметров по формулам (2.3), (2.4) и (2.5).

За время торможения механизма до остановки $0 \leq t \leq t_3$ ($t_3 = \frac{\omega_2}{\varepsilon_3}$) изменение обобщенной координаты и обобщенной скорости описывается выражениями (2.8), в которых следует положить $q_{V(03)} = q_{V(2)}$ (при $t = t_2$); $\dot{q}_{V(03)} = \omega_2$.

Разбив время t_3 на $N3$ частей, вычисляем $q_{V(3i)}$, $\dot{q}_{V(3i)}$ по (2.8) и остальные кинематические параметры по формулам (2.3), (2.4), (2.5).

В приложении приведена программа вычислений по описанному алгоритму на языке Бейсик. Программа предусматривает ввод данных в диалоговом режиме и выбор чисел $N1$, $N2$, $N3$ разбиения интервалов времени t_1 , t_2 , t_3 . Для каждого момента времени t_i выводятся на печать все параметры, определяемые формулами (2.3) - (2.8). Идентификаторы указанных ниже параметров обозначим:

$t - T, q_0 - Q_0, \omega_0 - \Omega_0, \varphi - \Phi,$
 $\omega_{AB} - \Omega_{AB}, \varepsilon_{AB} - \varepsilon_{AB}, V_A - VA, V_B - VB,$
 $V_{xc} - V_{xc}, V_{yc} - V_{yc}, V_c - VC,$
 $a_{xA} - AXA, a_{yA} - AYA, a_A - AA, a_B - AB,$
 $a_{xc} - AXC, a_{yc} - AYC, a_c - AC.$

Ниже приводится таблица исходных данных для 30 вариантов заданий. Рекомендуем принимать начальное значение угловой скорости кривошипа $\dot{q}_{(t_0)} = 0$ и время вращения кривошипа с постоянной угловой скоростью $t = 1$ с. Рекомендуем интервалы времени t_1, t_2, t_3 разбивать на число частей $N1 = N3 = 5, N2 = 10$ для получения достаточного числа точек для построения графиков изменения во времени кинематических характеристик движения.

Во всех вариантах изменение во времени обобщенной координаты и ее производных описывается выражениями (2.6), (2.7), (2.8), что графически представляется кривыми (рис. 2.2).

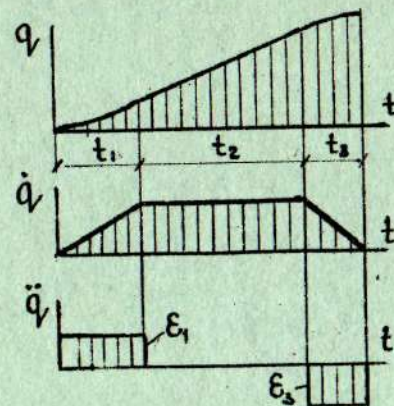


Рис. 2.2

Это наиболее распространенная (типовая) для кинематических расчетов зависимость. Скорость \dot{q} изменяется во времени по трапециoidalному закону.

Ниже приводится пример описанного аналитического расчета механизма, который рекомендуем выполнить наряду с графоаналитическими вычислениями

Варианты заданий

N п/п	OA, м	AB, м	AC, м	H, м	q ₀ , град	ε ₁ , мс ⁻²	ω ₂ , с ⁻¹	ε ₂ , мс ⁻²
1	0,1	0,2	0,1	0	30	10	10	20
2	0,1	0,2	0,1	0,05	30	10	10	20
3	0,1	0,2	0,1	0,1	30	10	10	20
4	0,1	0,2	0,1	0,15	30	10	10	20
5	0,2	0,5	0,2	0	0	15	15	20
6	0,2	0,6	0,2	0	0	15	15	20
7	0,2	0,7	0,2	0	0	15	15	20
8	0,2	0,8	0,2	0	0	15	15	20
9	0,2	0,7	0,3	0,05	90	15	10	15
10	0,2	0,7	0,3	0,1	90	15	10	15
11	0,2	0,7	0,3	0,15	90	15	10	15
12	0,2	0,7	0,3	0,2	90	15	10	15
13	0,3	0,8	0,1	0,1	180	20	10	20
14	0,3	0,8	0,2	0,1	180	20	10	20
15	0,3	0,8	0,3	0,1	180	20	10	20
16	0,3	0,8	0,4	0,1	180	20	10	20
17	0,3	0,8	0,5	0,1	180	20	10	20
18	0,3	0,8	0,6	0,1	180	20	10	20
19	0,3	0,8	0,7	0,1	180	20	10	20
20	0,4	0,9	0,5	0	270	20	15	15
21	0,4	1,0	0,5	0	270	15	15	20
22	0,4	1,1	0,5	0	270	15	15	20
23	0,4	1,2	0,5	0	270	15	15	20
24	0,4	1,3	0,5	0	270	15	15	20
25	0,3	1,5	0,5	-0,1	60	20	15	20
26	0,35	1,5	0,5	-0,1	60	20	15	20
27	0,4	1,5	0,5	-0,1	60	20	15	20
28	0,45	1,5	0,5	-0,1	60	20	15	20
29	0,50	1,5	0,5	-0,1	60	20	15	20
30	0,55	1,5	0,5	-0,1	60	20	15	20

скорости и ускорения точек B и C для одного (заданного пре-
подавателем) положения механизма.

3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Распечатка примера приведена в приложении I.

Исходные данные: $OA = 0,3$ м; $AB = l = 1$ м; $AC = 0,4$ м;
 $H = 0,1$ м; $q_0 = 30^\circ$; $\omega_2 = 10$ 1/с;
 $\epsilon_1 = 10$ 1/с²; $\epsilon_2 = 20$ 1/с²; $t_2 = 1$ с.

Механизм изображен в масштабе на рис. 2.3. Траекторией ползуна B является прямая B_1B_2 , шарнир A описывает окружность радиуса OA , а точка C имеет траекторию в виде эллипса.

Рис. 2.3 можно получить с помощью чертёжного инструмента, а можно использовать плоскость XOY и результаты вычислений на ЭВМ (см. последующие стр.) координат шарниров x_A, y_A, x_B, y_B

На рис. 2.4 представлены графические зависимости для ползуна B (x_B, V_B, a_B) в периоды разгона (t_0), движения механизма с постоянной угловой скоростью вращения установки (t_0) и торможения ($0,5$ с).

Получено, что ход ползуна $S = 0,60$ м от $x_B = 0,69$ м до $x_B = 1,29$ м. Наибольшие значения скорости V_B и ускорения a_B ползуна достигаются в период вращения кривошипа с максимальной угловой скоростью $\dot{q} = \omega_2 = 10$ 1/с и равны, соответственно, $V_B = 3$ м/с (на средних участках траектории) и $a_B = 34$ м/с² - в крайнем правом и $a_B = 17$ м/с² - в крайнем левом положениях ползуна.

На рис. 2.5 показаны графики вращательной части движения ватона AB . Вследствие смещения направляющей ползуна ($H = 0,1$ м) ватун поворачивается относительно горизонтали против хода

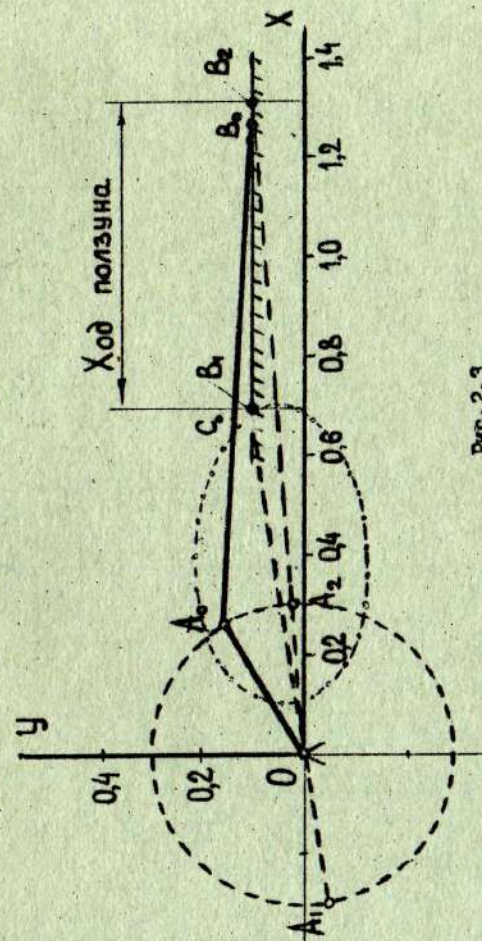


Рис. 2.3

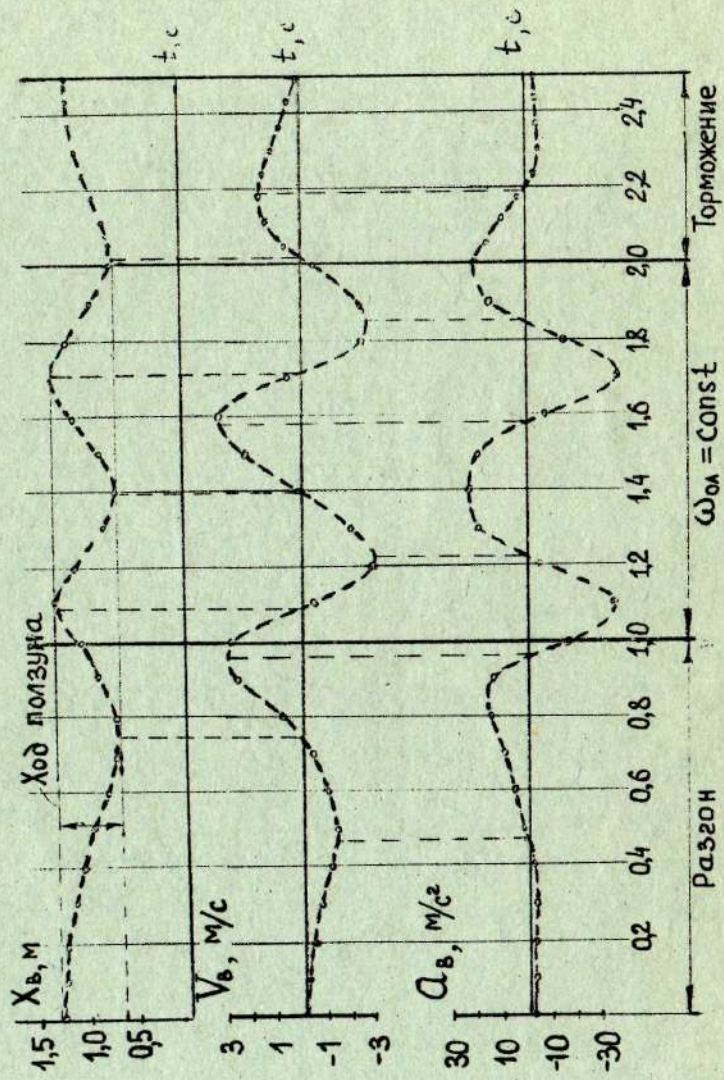


Рис. 2.4

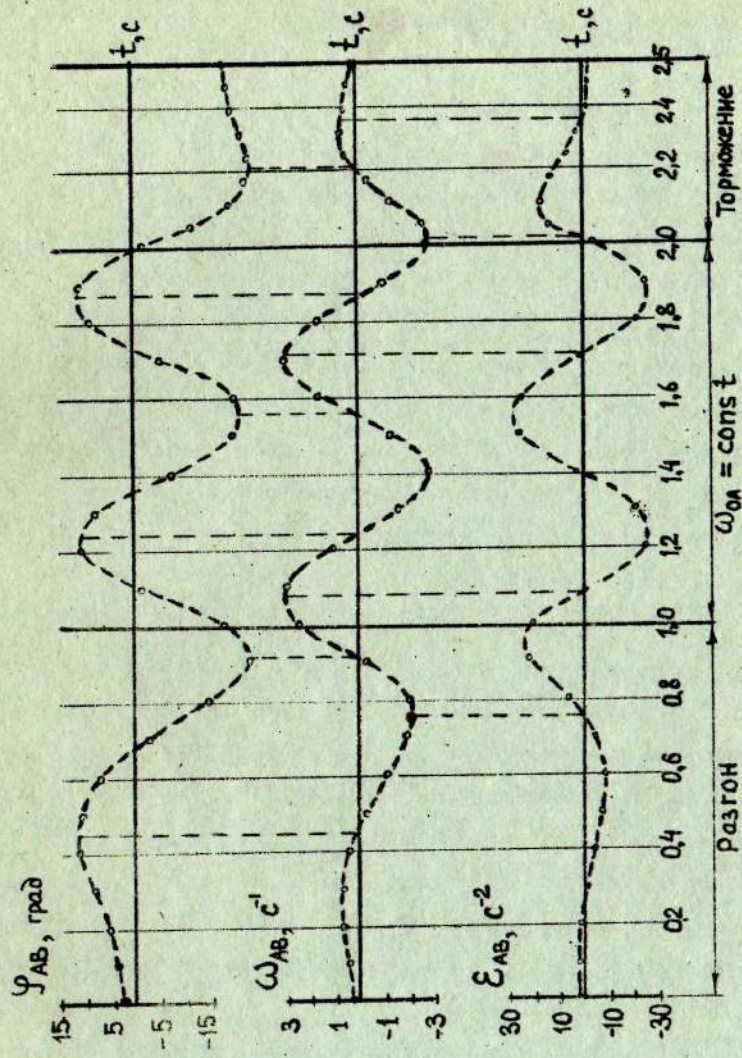


Рис. 2.5

часовой стрелки больше, чем по ходу часовой стрелки ($\varphi = +10,6^\circ (0,185)$, $\psi = -22^\circ (0,384)$). Наибольшие значения угловой скорости и углового ускорения шатуна равны соответственно: $\omega_{AB} = 3,016 \text{ 1/с}$, $\epsilon_{AB} = 27,3 \text{ 1/с}^2$.

На рис.2.6 показаны траектории точек A и C механизма, на них цифрами 1,2, ..., 6 показаны шесть положений этих точек при равномерном вращении кривошипа в моменты времени $t_{2i} = 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5$ и $0,6$ с соответственно. Для этих моментов времени на рис. 2.6а изображены в масштабе векторы скорости и их составляющие $\bar{V}_{xc}, \bar{V}_{yc}$ для вектора V_c по результатам численного счета, а на рис. 2.6,б - векторы ускорений точек A и C . При равномерном вращении кривошипа точка A движется с постоянной по модулю линейной скоростью $V_A = 3 \text{ м/с}$ и имеет только нормальное ускорение $a_A = 30 \text{ м/с}^2$, направленное к центру траектории. Для ускорений точки C показаны и составляющие $\bar{a}_{xc}, \bar{a}_{yc}$. Установлено, что скорость и ускорение точки C изменяются во времени. Наибольшее значение V_c достигается в промежуточных положениях шатуна, а наибольшие ускорения a_c - в крайних положениях шатуна и ползуна. При этом вычислено $V_{c_{max}} = 2,97 \text{ м/с}$ (в положении 2), $a_{c_{max}} = 32,9 \text{ м/с}^2$ (в положении 1). Получено также, что векторы ускорений \bar{a}_c направлены к центру тяжести траектории точки C (см.рис.2.6,б) при равномерном вращении кривошипа ($\dot{q} = \text{const}$).

На рис. 2.7 показана зависимость положения ползуна X_B от угла поворота кривошипа q . Если выполнить параллельный перенос осей, то часть графика в осях $S-q$ называется функ-

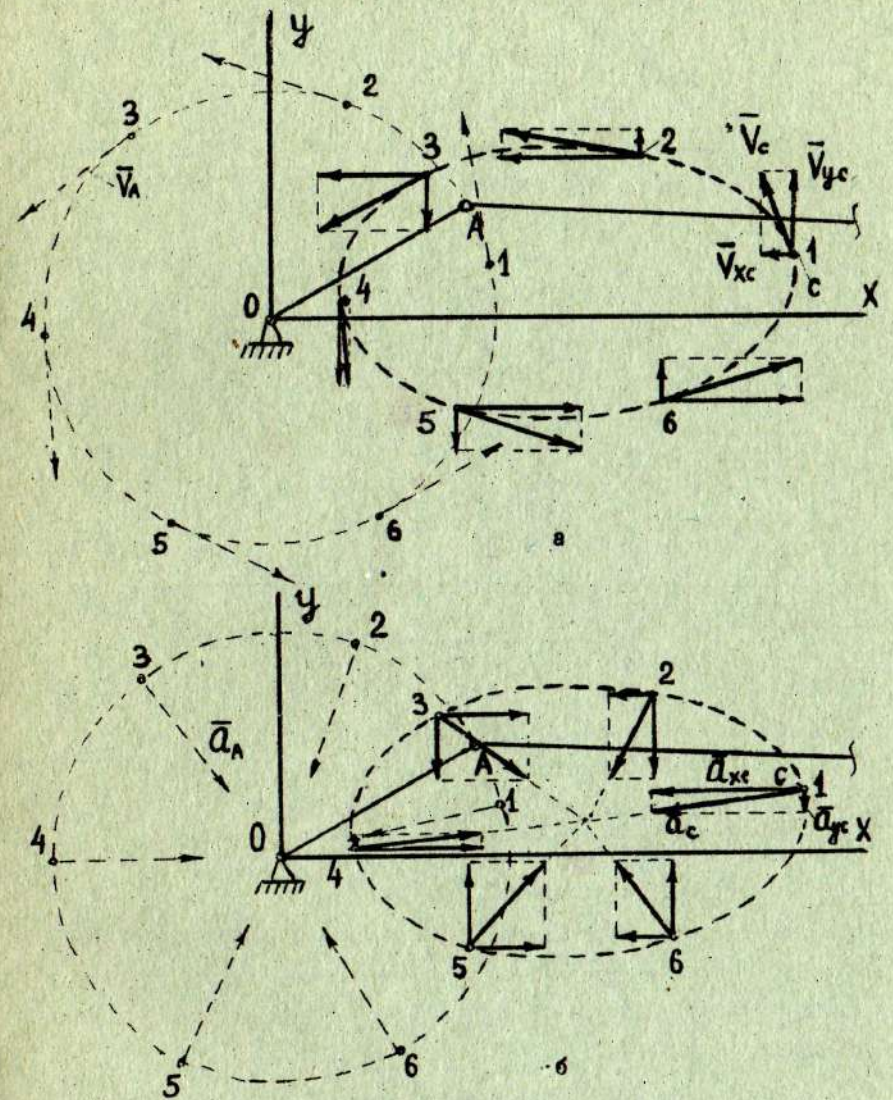


Рис.2.6

цией положения или передаточной функцией механизма. Она имеет симметричный вид, если $H = 0$. Асимметричную функцию (при $H \neq 0$) получают, когда требуется обеспечить движение ползуна с разной скоростью в разных направлениях.

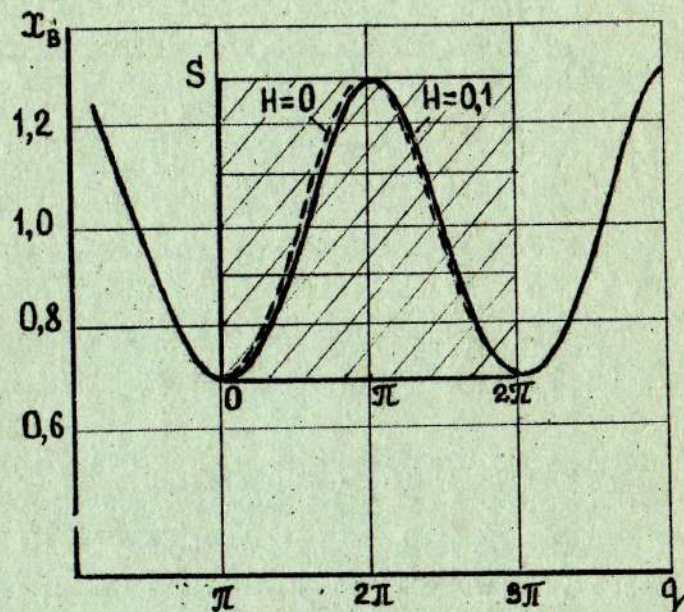


Рис. 2.7

Во второй части задания необходимо с помощью мгновенного центра скоростей и теоремы об ускорениях точек плоской фигуры найти скорости и ускорения точек В и С для одного положения механизма.

Объяснение этой части задания можно найти в учебниках по теоретической механике и в примере выполнения задания К-3 сборника [1].

РАСПЕЧАТКА ПРИМЕРА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ
КУРСОВОЕ ЗАДАНИЕ ПО КИНЕМАТИКЕ КРИВОЛИННО-ПЛОСКОГО МЕХ-МА
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ, СКОРОСТЕЙ И УСКОРЕНИЯ ТОЧЕК И ЗВЕНЬЕВ МЕХ-МА
ВЫПОЛНИЛ СТУДЕНТ
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

QA = .3 L = 1 AC = .4 H = .1 QD = 30 DM = 0 OMK = 10
I1 = 1 I2 = 1 I3 = .5 EP = 10 EP3 = 20

УЧАСТОК РАЗГОНА

T = 0 QD = 30 DM = 0 F10 = 2.86348 DMAB = 0 EPAB = 2.596853
VA0 = 0 VB0 = 0 VX0 = 0 VY0 = 0 VC = 0
AXA0 = -1.49931 AYAB = 0 AA = 1.49931 AB = -1.628974 XAB = 1.2586
AXCB = -1.551176 AYCB = -1.037446 ACB = -1.86613
XAB = 1.2586
XAB = 1.2586
1 Q1 = 32.86625 OM1 = 1 F1 = 3.598386 DMAB = .6593486 VCB = .1299586
EPAB = 2.359236 VA = .3 VB = -1.785718 VXC = -1.1698671
VYC = .1512176 VC = .2268269 AXA = -1.879336 AYA = 2.357562
AA = 3.014963 AB = -2.098976 AXC = -1.963992 AYC = 1.417327
AC = 2.421999 XB = 1.2586
XA = .2520293 YA = .1627386 XC = .6512415 YC = .1376384
2 Q1 = 41.46497 OM1 = 2 F1 = 5.659477 DMAB = .4149515
EPAB = 1.471086 VA = .6 VB = -.4418885 VXC = -.4149515
VYC = .2698573 VC = .4949826 AXA = -2.889186 AYA = 1.454546
AA = 3.231899 AB = -3.233461 AXC = -3.024496 AYC = .8778389
AC = 3.149889 XB = 1.228812
XA = .2246811 YA = .1985661 XC = .6229333 YC = .1591397
3 Q1 = 55.79618 OM1 = 3 F1 = 8.517076 DMAB = .5119321
EPAB = -.5030377 VA = .9008001 VB = -.8198781 VXC = -.7744015
VYC = .3037753 VC = .8318516 AXA = -3.999173 AYA = -.5446266
AA = 4.036888 AB = -4.183896 AXC = -4.073162 AYC = -.3381185
AC = 4.086417 XB = 1.157747
XA = .168764 YA = .2480297 XC = .5643573 YC = .1888178
4 Q1 = 75.85986 OM1 = 4 F1 = 11.08862 DMAB = .2994387
EPAB = -3.8658 VA = 1.2 VB = -1.228596 VXC = -1.186305
VYC = .1763605 VC = 1.199343 AXA = -4.084348 AYA = -3.918940
AA = 5.660389 AB = -3.434532 AXC = -3.824422 AYC = -2.394204
AC = 4.51203 XB = 1.055101
XA = 7.348333E-02 YA = .2988611 XC = .4661384 YC = .2145167
5 Q1 = 101.656 OM1 = 5 F1 = 11.18426 DMAB = -.307568
EPAB = -7.856218 VA = 1.5 VB = -1.489712 VXC = -1.445488
VYC = -.1618396 VC = 1.456781 AXA = -1.438013 AYA = -7.950161
AA = 8.077748 AB = 2.499819E-04 AXC = -.0579089 AYC = -4.859958
AC = 4.935899 XB = .9286011
XA = -6.034654E-02 YA = .2938678 XC = .3320645 YC = .2163207
6 Q1 = 133.1847 OM1 = 6 F1 = 6.837117 DMAB = -1.23989
EPAB = -9.716631 VA = 1.8 VB = -1.166487 VXC = -1.254949
VYC = -.7381725 VC = 1.453951 AXA = 5.191854 AYA = -9.934017
AA = 11.20893 AB = 4.823571 AXC = 5.044541 AYC = -6.081982
AC = 7.840295 XB = .7878479
XA = -.2030479 YA = .2189871 XC = .1921104 YC = .1713923
7 Q1 = 170.4458 OM1 = 7 F1 = 2.853661 DMAB = -2.072911
EPAB = -5.629722 VA = 2.1 VB = -.4548282 VXC = -.3529394
VYC = -1.242206 VC = 1.382672 AXA = 13.99 AYA = -5.419395
AA = 15.003 AB = 9.418228 AXC = 12.18129 AYC = -3.253822
AC = 12.58958 XB = .782998
XA = -.2957633 YA = 5.024802E-02 XC = .1037412 YC = 7.814401E-02
8 Q1 = 215.4395 OM1 = 8 F1 = -15.36545 DMAB = -2.079474
EPAB = 6.773951 VA = 2.4 VB = .7680141 VXC = 1.098455
VYC = -1.203131 VC = 1.629149 AXA = 17.669218 AYA = 8.843473
AA = 19.43296 AB = 15.31442 AXC = 16.70988 AYC = 4.972553
AC = 17.46281 XB = .7136391
XA = -.2506523 YA = -.1648437 XC = .1358643 YC = -5.896233E-02
9 Q1 = 262.1656 OM1 = 9 F1 = -23.48914 DMAB = -1.4077699
EPAB = 22.5932 VA = 2.7 VB = 2.512011 VXC = 2.689167
VYC = -.2245442 VC = 2.618812 AXA = 6.339206 AYA = 23.84462
AA = 24.48449 AB = 15.15846 AXC = 7.866905 AYC = 15.32903
AC = 18.23006 XB = .6761913
XA = -4.158227E-02 YA = -.2971843 XC = .255272 YC = -.1382625
1 Q1 = 316.8242 OM1 = 10 F1 = -17.86617 DMAB = -2.264891
EPAB = 20.72043 VA = 3 VB = 2.767891 VXC = 2.346782
VYC = 1.384889 VC = 2.635896 AXA = 19.0817 AYA = 22.33921
AA = 30.14963 AB = -18.29711 AXC = -17.12767 AYC = 14.38999
AC = 23.88831 XB = 1.169386
XA = .2174815 YA = -.2066442 XC = .5982112 YC = -8.396630E-02

ДВИЖЕНИЕ С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ КРИВОШИПА

1 Q2= 373.9491 OM2= 10 FI=-1.642353 OMAВ= 2.915105
 EPAB=-7.377314 VA= 3 VB=-.6300337 VXC=-.6801374
 VYC= 1.746345 VC= 1.875979 AXA=-29.13909 AYA=-7.135799
 AA= 30 AB=-37.84477 AXC=-32.62136 AYC=-4.283056
 AC= 32.98133 XB= 1.290981
 XA= 2913508 YA= 7.135399E-02 XC= .6912268 YC= .0828124
 2 Q2= 431.2739 OM2= 10 FI= 10.59362 OMAВ= .9988392
 EPAB=-27.95351 VA= 3 VB=-3.019563 VXC=-2.910324
 VYC= 1.584381 VC= 2.968414 AXA=-9.739683 AYA=-28.37497
 AA= 30 AB=-5.568281 AXC=-8.071122 AYC=-17.31179
 AC= 19.10862 XB= 1.08037
 XA= 9.739684E-02 YA= .2837497 XC= .4905861 YC= .2182498
 3 Q2= 488.5987 OM2= 10 FI= 7.778013 OMAВ=-1.878701
 EPAB=-22.74313 VA= 3 VB=-2.098546 VXC=-2.251022
 VYC= 1.11686 VC= 2.512862 AXA= 18.61434 AYA=-23.52672
 AA= 30 AB= 18.22072 AXC= 18.45689 AYC=-14.24284
 AC= 23.31341 XB= .8046658
 XA=-.1861434 YA= .2352672 XC= .2101803 YC= .1811603
 4 Q2= 545.9236 OM2= 10 FI=-7.445564 OMAВ=-3.010802
 EPAB= 1.770301 VA= 3 VB=-9.476724E-02 VXC= .1392061
 VYC= 1.791265 VC= 1.796666 AXA= 29.85442 AYA= 2.951883
 AA= 30 AB= 21.09513 AXC= 26.35071 AYC= 1.780096
 AC= 26.41076 XB= .6930328
 XA=-.2985442 YA=-2.951884E-02 XC= 9.808657E-02 YC= .0222887
 5 Q2= 603.2485 OM2= 10 FI=-21.55183 OMAВ=-1.467119
 EPAB= 25.80445 VA= 3 VB= 2.132979 VXC= 2.456184
 VYC=-.8187893 VC= 2.589065 AXA= 13.64649 AYA= 26.71654
 AA= 30 AB= 20.82516 AXC= 16.51796 AYC= 17.09721
 AC= 23.77384 XB= .7936989
 XA=-.1364649 YA=-.2671654 XC= .2355974 YC=-.1202993
 6 Q2= 660.5732 OM2= 10 FI=-21.0606 OMAВ= 1.618824
 EPAB= 24.1291 VA= 3 VB= 3.173265 VXC= 2.824394
 VYC= .906478 VC= 2.966294 AXA=-15.10797 AYA= 25.91813
 AA= 30 AB=-8.886959 AXC=-12.61956 AYC= 16.53406
 AC= 20.79973 XB= 1.084348
 XA= .1510797 YA=-.2691813 XC= .5243868 YC=-.1155088
 7 Q2= 717.8981 OM2= 10 FI=-6.486215 OMAВ= 3.016512
 EPAB= .2624896 VA= 3 VB= .4696571 VXC= .2653057
 VYC= 1.798333 VC= 1.817798 AXA=-29.97223 AYA= 1.290714
 AA= 30 AB=-38.98375 AXC=-33.57683 AYC= .7754368
 AC= 33.58579 XB= 1.293328
 XA= .2997223 YA=-1.290714E-02 XC= .6971646 YC= 3.225572E-02
 8 Q2= 775.2229 OM2= 10 FI= 8.755054 OMAВ= 1.746534
 EPAB=-23.95237 VA= 3 VB=-2.708594 VXC=-2.5538
 VYC= 1.03681 VC= 2.756242 AXA=-17.28016 AYA=-24.52338
 AA= 30 AB=-16.81951 AXC=-17.09599 AYC=-14.86681
 AC= 22.65594 XB= 1.162199
 XA= .1728016 YA= .2452338 XC= .5685606 YC= .1871403
 9 Q2= 832.5478 OM2= 10 FI= 18.25312 OMAВ=-1.148238
 EPAB=-27.33555 VA= 3 VB=-2.574798 VXC=-2.697367
 VYC=-.6779522 VC= 2.78126 AXA= 11.2992 AYA=-27.79079
 AA= 30 AB= 14.865 AXC= 12.72552 AYC=-16.93718
 AC= 21.18507 XB= .8718551
 XA=-.112992 YA= .2779079 XC= .2806268 YC= .2067448
 1 Q2= 889.8726 OM2= 10 FI=-2.576199 OMAВ=-2.951994
 EPAB=-5.895989 VA= 3 VB=-.6833667 VXC=-.6837953
 VYC=-1.769408 VC= 1.869592 AXA= 29.49013 AYA=-5.507477
 AA= 30 AB= 20.51978 AXC= 25.90199 AYC=-3.308059
 AC= 26.11238 XB= .7840892
 XA=-.2949013 YA= 5.507477E-02 XC= .1846949 YC= 7.384487E-02

ЗАМЕДЛЕННОЕ ВРАЩЕНИЕ КРИВОШИПА

8 Q2= 93.4614 OM3= 8.75 FI=-12.55023 OMAВ=-2.475537
 EPAB= 13.00639 VA= 2.625 VB= .4877321 VXC= .8103248
 VYC=-1.449867 VC= 1.668946 AXA= 18.80016 AYA= 14.49544
 AA= 23.7395 AB= 15.64298 AXC= 17.53729 AYC= 8.884672
 AC= 19.65945 XB= .6999649
 XA=-.2761652 YA=-.17187 XC= .1142868 YC=-3.031221E-02
 125 Q3= 957.5716 OM3= 7.5 FI=-19.68527 OMAВ=-1.468209
 EPAB= 15.79239 VA= 2.25 VB= 1.280839 VXC= 1.577437
 VYC=-.8294932 VC= 1.782237 AXA= 5.63488 AYA= 17.00041
 AA= 17.90993 AB= 8.922227 AXC= 6.949819 AYC= 18.76195
 AC= 12.81091 XB= .757284
 XA=-.1843318 YA=-.2366893 XC= 1.923145 YC=-.1020135
 1875 Q3= 977.2834 OM3= 6.25 FI=-23.08843 OMAВ=-.4685811
 EPAB= 12.17959 VA= 1.875 VB= 1.641105 VXC= 1.751305
 VYC=-.2586514 VC= 1.770302 AXA=-3.144984 AYA= 12.7843
 AA= 13.16545 AB= 1.426972 AXC=-1.516202 AYC= 8.267874
 AC= 8.371985 XB= .8510072
 XA=-.8689737 YA=-.2919634 XC= .2990187 YC=-.135178
 25 Q3= 997.5567 OM3= 5 FI=-23.45622 OMAВ= .195036
 EPAB= 6.432407 VA= 1.5 VB= 1.566886 VXC= 1.520328
 VYC= .1073612 VC= 1.524114 AXA=-6.851834 AYA= 6.730706
 AA= 9.604687 AB=-4.327549 AXC=-5.842119 AYC= 4.364895
 AC= 7.292166 XB= .9532341
 XA= 3.578705E-02 YA=-.2978579 XC= .4027659 YC=-.1387147
 3125 Q3= 1013.032 OM3= 3.75 FI=-22.14713 OMAВ= .4651939
 EPAB= 1.460555 VA= 1.125 VB= 1.214667 VXC= 1.109405
 VYC= .2585067 VC= 1.139124 AXA=-7.158225 AYA= 1.399273
 AA= 7.334702 AB=-6.807835 AXC=-7.018069 AYC= 1.025544
 AC= 7.092604 XB= 1.041853
 XA= .1148919 YA=-.2771279 XC= .4853564 YC=-.1262767
 375 Q3= 1024.228 OM3= 2.5 FI=-20.47087 OMAВ= .4442527
 EPAB=-1.780087 VA= .75 VB= .779197 VXC= .6860211
 VYC= .2497358 VC= .7300636 AXA=-6.031795 AYA=-1.770051
 AA= 6.286145 AB=-6.830954 AXC=-6.354658 AYC=-1.130532
 AC= 6.454439 XB= 1.103404
 XA= .1664905 YA=-.2495615 XC= .5412559 YC=-.1097369
 4375 Q3= 1030.945 OM3= 1.25 FI=-19.18044 OMAВ= .2574353
 EPAB=-3.453467 VA= .375 VB= .3700174 VXC= .3192948
 VYC= .1458954 VC= .3510479 AXA=-4.871626 AYA=-3.533695
 AA= 6.018284 AB=-6.068943 AXC=-5.350555 AYC=-2.236883
 AC= 5.799308 XB= 1.139072
 XA= .1945272 YA=-.2283838 XC= .572345 YC=-9.703027E-02
 5 Q3= 1033.185 OM3= 0 FI=-18.70948 OMAВ= 0
 EPAB=-3.957181 VA= 0 VB= 0 VXC= 0
 VYC= 0 VC= 0 AXA=-4.412256 AYA=-4.065956
 AA= 6 AB=-5.68098 AXC=-4.919746 AYC=-2.566643
 AC= 5.549013 XB= 1.150508
 XA= .2032978 YA=-.2206128 XC= .582182 YC=-9.236766E-02

РАСПЕЧАТКА ПРОГРАММЫ

```

10 LPRINT TAB(5) "КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ"
20 LPRINT "КУРСОВОЕ ЗАДАНИЕ ПО КИНЕМАТИКЕ КРИВОЛИННО-ШАТУННОГО МЕХ-МА"
30 LPRINT
40 LPRINT "ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ, СКОРОСТЕЙ И УСКОРЕНИЙ ТОЧЕК И ЗВЕНЬЕВ МЕХ-МА"
50 LPRINT
80 LPRINT "ВЫПОЛНИЛ СТУДЕНТ "
90 PRINT "УКАЖИТЕ (В КАВЫЧКАХ) ГРУППУ, ФАМИЛИЮ, И ВАРИАНТА"
100 INPUT A$
110 LPRINT A$
120 LPRINT
130 LPRINT "ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:"
140 LPRINT
150 INPUT "Q0=" , Q0
160 INPUT "L=" , L
165 INPUT "AC=" , AC
170 INPUT "H=" , H
180 INPUT "В ГРАДУСАХ Q0=" , Q0
190 INPUT "OM0=" , OM0
195 INPUT "OMK=" , OMK
200 INPUT "EP1=" , EP
205 INPUT "EP3=" , EP3
220 INPUT "T2=" , T2
230 T1=(OMK-OM0)/EP; T3=OMK/EP3
300 LPRINT "Q0="Q0;"L="L;"AC="AC;"H="H;"Q0="Q0;"OM0="OM0;"OMK="OMK
310 LPRINT "T1="T1;"T2="T2;"T3="T3;"EP="EP;"EP3="EP3
320 LPRINT
325 Q0=Q0*3.14/180
330 XA0=Q0*AC; YA0=Q0*H; D0=SQR(L^2-(YA0-H)^2)
332 F10=ATN((YA0-H)/D0)
334 OMA00=Q0+OM0+COS(Q0)/D0
336 ERA00=Q0/D0^(3/2)*((EP+COS(Q0)-OM0^2+SIN(Q0))*D0^2+Q0*(COS(Q0))^2+OM0^2*(
YA0-H))
337 X20=XA0+L*COS(F10); Y20=YA0+AC+COS(F10); YC0=YA0-AC+SIN(F10)
340 VXA0=-Q0*SIN(Q0)+OM0; VYA0=Q0*AC+COS(Q0)+OM0; VAB=Q0+OM0
350 V20=-Q0*SIN(Q0)+OM0-L*SIN(F10)+OMA00
360 VXC0=VXA0-AC*SIN(F10)+OMA00; VYC0=VYA0-AC+COS(F10)+OMA00; VCB=SQR(VXC0^2+VYC0^
2)

```

```

370 AXA0=-Q0*(COS(Q0)*OM0^2+SIN(Q0)*EP); AYA0=Q0*(-SIN(Q0)*OM0^2+COS(Q0)*EP)
380 AA0=SQR(AXA0^2+AYA0^2)
390 AB0=-Q0*(COS(Q0)*OM0^2+SIN(Q0)*EP)-L*(COS(F10)+OMA00^2+SIN(F10)*ERA00)
400 AXC0=AXA0-AC*(COS(F10)+OMA00^2+SIN(F10)*ERA00)
410 AYC0=AYA0-AC*(-SIN(F10)+OMA00^2+COS(F10)*ERA00)
420 AC0=SQR(AXC0^2+AYC0^2)
430 PRINT "НА СКОЛЬКО ЧАСТЕЙ РАЗДЕЛИТЬ ВРЕМЯ РАЗГОНА T1 ?"
440 INPUT "N1=" , N1
450 PRINT "НА СКОЛЬКО ЧАСТЕЙ РАЗДЕЛИТЬ ВРЕМЯ РАВНОМЕРНОГО ВРАЩЕНИЯ КРИВОЛИНА T2?"
460 INPUT "N2=" , N2
470 PRINT "НА СКОЛЬКО ЧАСТЕЙ ДЕЛИТЬ ВРЕМЯ ТОРМОЖЕНИЯ МЕХАНИЗМА T3 ?"
480 INPUT "N3=" , N3
490 DIM T1(N1), Q1(N1), OM1(N1), F11(N1), OMA11(N1), ERA11(N1)
500 DIM XA1(N1), YA1(N1), XB1(N1), XC1(N1), YC1(N1)
510 DIM VXA1(N1), VYA1(N1), VA1(N1), VB1(N1), VXC1(N1), VYC1(N1), VCB1(N1)
520 DIM AXA1(N1), AYA1(N1), AA1(N1), AB1(N1), AXC1(N1), AYC1(N1), AC1(N1)
530 DIM T2(N2), Q2(N2), OM2(N2), F12(N2), OMA22(N2), ERA22(N2)
540 DIM XA2(N2), YA2(N2), XB2(N2), XC2(N2), YC2(N2)
550 DIM VXA2(N2), VYA2(N2), VA2(N2), VB2(N2), VXC2(N2), VYC2(N2), VCB2(N2)
560 DIM AXA2(N2), AYA2(N2), AA2(N2), AB2(N2), AXC2(N2), AYC2(N2), AC2(N2)
570 DIM T3(N3), Q3(N3), OM3(N3), F13(N3), OMA33(N3), ERA33(N3)
580 DIM XA3(N3), YA3(N3), XB3(N3), XC3(N3), YC3(N3)
590 DIM VXA3(N3), VYA3(N3), VA3(N3), VB3(N3), VXC3(N3), VYC3(N3), VCB3(N3)
600 DIM AXA3(N3), AYA3(N3), AA3(N3), AB3(N3), AXC3(N3), AYC3(N3), AC3(N3)
630 DT1=T1/N1; DT2=T2/N2; DT3=T3/N3
640 FOR I=1 TO N1
650 T1(I)=I*DT1
660 Q1(I)=Q0+OM0*T1(I)+EP*T1(I)^2/2
665 CQ1=COS(Q1(I)); SQ1=SIN(Q1(I))
670 OM1(I)=OM0+EP*T1(I)
680 XA1(I)=Q0*AC*COS(Q1(I)); YA1(I)=Q0*H+Q0*SIN(Q1(I))
690 D0=SQR(L^2-(YA1(I)-H)^2)
700 F11(I)=ATN((YA1(I)-H)/D0)
710 OMA11(I)=Q0+OM1(I)+CQ1/D0
720 ERA11(I)=Q0/D0^(3/2)*((EP+CQ1-OM1(I)^2+SQ1)*D0^2+Q0*CQ1^2+OM1(I)^2*(Q0+SQ1-H

```



```

725 CF1=COS(FI1(I));SF1=SIN(FI1(I))
730 X1(I)=OA*CO1+L*CF1
740 XC1(I)=XA1(I)+AC*CF1;YC1(I)=YA1(I)-AC*SF1
750 VXA1(I)=-OA*SQ1*OM1(I); VYA1(I)=OA*CO1*OM1(I); VA1(I)=OA*OM1(I)
760 VB1(I)=-OA*SQ1*OM1(I)-L*SF1*OMAB1(I)
770 VXC1(I)=VXA1(I)-AC*SF1*OMAB1(I)
780 VYC1(I)=VYA1(I)-AC*CF1*OMAB1(I)
790 VC1(I)=SQR(VXC1(I)^2+VYC1(I)^2)
800 AXA1(I)=-OA*(CO1*OM1(I)^2+SQ1*EP)
810 AYA1(I)=OA*(-SQ1*OM1(I)^2+CO1*EP)
820 AA1(I)=SQR(AXA1(I)^2+AYA1(I)^2)
830 AB1(I)=AXA1(I)-L*(CF1*OMAB1(I)^2+SF1*EPAB1(I))
840 AXC1(I)=AXA1(I)-AC*(CF1*OMAB1(I)^2+SF1*EPAB1(I))
850 AYC1(I)=AYA1(I)-AC*(-SF1*OMAB1(I)^2+CF1*EPAB1(I))
860 AC1(I)=SQR(AXC1(I)^2+AYC1(I)^2)
870 NEXT I
900 FOR I=1 TO N2
990 T2(I)=I*DT2
1000 Q2(I)=Q1(N1)+OM1(N1)*T2(I)
1010 CQ2=COS(Q2(I));SQ2=SIN(Q2(I))
1020 OM2(I)=OM1(N1)
1030 XA2(I)=OA*COS(Q2(I));YA2(I)=OA*SIN(Q2(I))
1040 DB=SQR(L^2-(YA2(I)-I)^2)
1050 FI2(I)=ATN((YA2(I)-H)/DB)
1060 OMAB2(I)=OA*OM2(I)+CQ2/DB
1070 EPAB2(I)=OA/DB^(3/2)*((-OM2(I)^2+SQ2)*DB^2+OA*CQ2^2+OM2(I)^2*(OA*SQ2-H))
1080 CF2=COS(FI2(I));SF2=SIN(FI2(I))
1090 X2(I)=OA*CO2+L*CF2
1100 XC2(I)=XA2(I)+AC*CF2;YC2(I)=YA2(I)-AC*SF2
1110 VXA2(I)=-OA*SQ2*OM2(I); VYA2(I)=OA*CO2*OM2(I); VA2(I)=OA*OM2(I)
1120 VB2(I)=-OA*SQ2*OM2(I)-L*SF2*OMAB2(I)
1130 VXC2(I)=VXA2(I)-AC*SF2*OMAB2(I)
1140 VYC2(I)=VYA2(I)-AC*CF2*OMAB2(I)
1150 VC2(I)=SQR(VXC2(I)^2+VYC2(I)^2)
1160 AXA2(I)=-OA*(CQ2*OM2(I)^2+SQ1*EP)
1170 AYA2(I)=OA*(-SQ2*OM2(I)^2+CO1*EP)
1180 AA2(I)=SQR(AXA2(I)^2+AYA2(I)^2)

```

```

1190 AB2(I)=AXA2(I)-L*(CF2*OMAB2(I)^2+SF2*EPAB2(I))
1200 AXC2(I)=AXA2(I)-AC*(CF2*OMAB2(I)^2+SF2*EPAB2(I))
1210 AYC2(I)=AYA2(I)-AC*(-SF2*OMAB2(I)^2+CF2*EPAB2(I))
1220 AC2(I)=SQR(AXC2(I)^2+AYC2(I)^2)
1230 NEXT I
1330 FOR I=1 TO N3
1340 T3(I)=I*DT3
1350 Q3(I)=Q2(N2)+OM2(N2)*T3(I)-EP3*T3(I)^2/2
1360 CQ3=COS(Q3(I));SQ3=SIN(Q3(I))
1370 OM3(I)=OM2(N2)-EP3*T3(I)
1380 XA3(I)=OA*COS(Q3(I));YA3(I)=OA*SIN(Q3(I))
1390 DB=SQR(L^2-(YA3(I)-H)^2)
1400 FI3(I)=ATN((YA3(I)-H)/DB)
1410 OMAB3(I)=OA*OM3(I)+CQ3/DB
1420 EPAB3(I)=OA/DB^(3/2)*((-EP3*CQ3-OM3(I)^2+SQ3)*DB^2+OA*CQ3^2+OM3(I)^2*(OA*SQ3-H))
1430 CF3=COS(FI3(I));SF3=SIN(FI3(I))
1440 X3(I)=OA*CO3+L*CF3
1450 XC3(I)=XA3(I)+AC*CF3;YC3(I)=YA3(I)-AC*SF3
1460 VXA3(I)=-OA*SQ3*OM3(I); VYA3(I)=OA*CO3*OM3(I); VA3(I)=OA*OM3(I)
1470 VB3(I)=-OA*SQ3*OM3(I)-L*SF3*OMAB3(I)
1480 VXC3(I)=VXA3(I)-AC*SF3*OMAB3(I)
1490 VYC3(I)=VYA3(I)-AC*CF3*OMAB3(I)
1500 VC3(I)=SQR(VXC3(I)^2+VYC3(I)^2)
1510 AXA3(I)=-OA*(CQ3*OM3(I)^2+SQ3*EP3)
1520 AYA3(I)=OA*(-SQ3*OM3(I)^2+CO3*EP3)
1530 AA3(I)=SQR(AXA3(I)^2+AYA3(I)^2)
1540 AB3(I)=AXA3(I)-L*(CF3*OMAB3(I)^2+SF3*EPAB3(I))
1550 AXC3(I)=AXA3(I)-AC*(CF3*OMAB3(I)^2+SF3*EPAB3(I))
1560 AYC3(I)=AYA3(I)-AC*(-SF3*OMAB3(I)^2+CF3*EPAB3(I))
1570 AC3(I)=SQR(AXC3(I)^2+AYC3(I)^2)
1580 NEXT I
1680 LPRINT "УЧАСТОК ПАЗГОМА"
1690 LPRINT
1700 LPRINT "T="0;"Q2="QB*188/3.14;"OM2="OM2;"FI2="FI2*188/3.14;"OMAB2="OMAB2;"E
PAB2="EPAB2
1702 LPRINT "VAB="VAB;"VB2="VB2;"VXC2="VXC2;"VYC2="VYC2;"VC2="VC2

```



```

1704 LPRINT "AXAB="AXAB;"AYAB="AYAB;"AA="AA0;"AB="AB0
1705 LPRINT "AXCB="AXCB;"AYCB="AYCB;"ACB="ACB;"XCB="XCB
1706 LPRINT "XAB="XAB;"YAB="YAB;"XCB="XCB;"YCB="YCB
1710 FOR I=1 TO N1
1720 LPRINT T1(I);"Q1="Q1(I)*180/3.14;"OM1="OM1(I);"F1="F11(I)*180/3.14;"OMAB="O
MAB1(I)
1730 LPRINT TAB(5) "EPAB="EPAB1(I);"VA="VA1(I);"VB="VB1(I);"VXC="VXC1(I)
1740 LPRINT TAB(5) "VYC="VYC1(I);"VC="VC1(I);"AXA="AXA1(I);"AYA="AYA1(I)
1750 LPRINT TAB(5) "AA="AA1(I);"AB="AB1(I);"AXC="AXC1(I);"AYC="AYC1(I)
1760 LPRINT TAB(5) "AC="AC1(I);"XB="XB1(I)
1765 LPRINT TAB(5) "XA="XA1(I);"YA="YA1(I);"XC="XC1(I);"YC="YC1(I)
1770 NEXT I
1790 LPRINT
1800 LPRINT "ДВИЖЕНИЕ С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ КРИВОЛИНА"
1810 LPRINT
1820 FOR I=1 TO N2
1830 LPRINT T2(I);"Q2="Q2(I)*180/3.14;"OM2="OM2(I);"F1="F12(I)*180/3.14;"OMAB="O
MAB2(I)
1840 LPRINT TAB(5) "EPAB="EPAB2(I);"VA="VA2(I);"VB="VB2(I);"VXC="VXC2(I)
1850 LPRINT TAB(5) "VYC="VYC2(I);"VC="VC2(I);"AXA="AXA2(I);"AYA="AYA2(I)
1860 LPRINT TAB(5) "AA="AA2(I);"AB="AB2(I);"AXC="AXC2(I);"AYC="AYC2(I)
1870 LPRINT TAB(5) "AC="AC2(I);"XB="XB2(I)
1875 LPRINT TAB(5) "XA="XA2(I);"YA="YA2(I);"XC="XC2(I);"YC="YC2(I)
1880 NEXT I
1890 LPRINT
1950 LPRINT "ЗАМЕДЛЕННОЕ ВРАЩЕНИЕ КРИВОЛИНА"
1960 LPRINT
1970 FOR I=1 TO N3
1980 LPRINT T3(I);"Q3="Q3(I)*180/3.14;"OM3="OM3(I);"F1="F13(I)*180/3.14;"OMAB="O
MAB3(I)
1990 LPRINT TAB(5) "EPAB="EPAB3(I);"VA="VA3(I);"VB="VB3(I);"VXC="VXC3(I)
2000 LPRINT TAB(5) "VYC="VYC3(I);"VC="VC3(I);"AXA="AXA3(I);"AYA="AYA3(I)
2010 LPRINT TAB(5) "AA="AA3(I);"AB="AB3(I);"AXC="AXC3(I);"AYC="AYC3(I)
2020 LPRINT TAB(5) "AC="AC3(I);"XB="XB3(I)
2025 LPRINT TAB(5) "XA="XA3(I);"YA="YA3(I);"XC="XC3(I);"YC="YC3(I)
2030 NEXT I
2040 END

```

Список литературы

И. Яблонский А.А. Сборник заданий для курсовых работ по теоретической механике. - М.: Высш.шк. - 1985. - 367 с.

Содержание

	стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
I. СВЯЗИ	5
I.1. Понятие о связях	5
I.2. Обобщенные координаты, число степеней свободы	10
2. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОБОБЩЕННЫХ КООРДИНАТ К ИССЛЕДОВАНИЮ КИНЕМАТИКИ МЕХАНИЗМА	17
3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ	26
Приложение 1. РАСПЕЧАТКА ПРИМЕРА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ	33
Приложение 2. РАСПЕЧАТКА ПРОГРАММЫ	36

Составители:

Валерий Андреевич Ропай

Леонид Викторович Колосов

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ "РАСЧЕТ
КИНЕМАТИКИ КРИВОЛИННО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА
АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ"
ПО ДИСЦИПЛИНЕ "ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА"

для студентов механических
специальностей

Редактор Л.А.Чумцова

Редакционно-издательский отдел

Подписано в печать 30.10.90. Формат 60x84/16.

Бум.тип. № 3. Офс.печ. Усл. печ. л. 1,9.

Уч.-изд. л.1,9. Тираж 300 экз. Заказ № 517. Бесплатно

Ротапринт ДГУ им. Артема

320600, ГСП. Днепропетровск 14, пр. К.Маркса, 19