

### КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА ПЯТИЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА

В данной работе проведен кинематический анализ пятизвенового механизма по диаграммам, которые построены с помощью выведенных уравнений.

В работах [1, 2, 3] были составлены уравнения для определения скоростей и ускорений всех схем шарнирно-четырёхзвённых механизмов переменной структуры. Воспользовавшись методикой расчета данной работы, можем определить скорость и ускорение ползуна. Для этого построим расчетную схему коромысла, имеющего эвольвентную кривую, которая представлена на рис. 1.

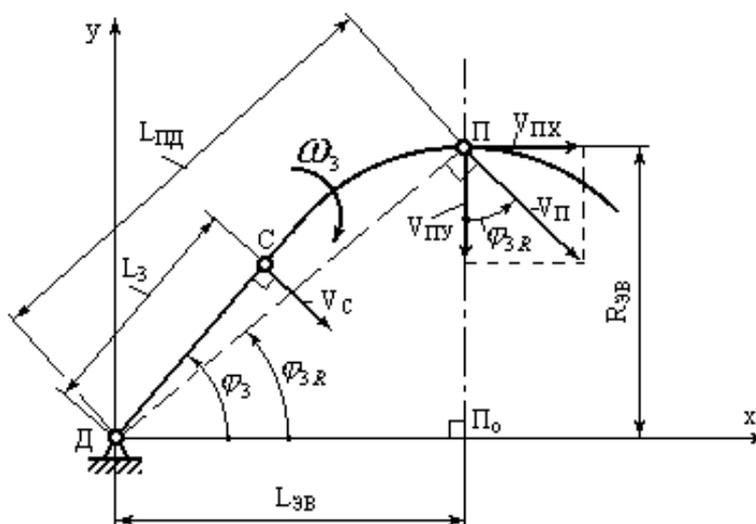


Рис. 1. Эвольвентная кривая расчетной схемы коромысла

Из прямоугольного треугольника  $ДП_0$  получим следующие формулы для определения  $L_{3B}$  и  $\varphi_{3R}$ :

$$L_{3B} = \sqrt{(L_{3C})^2 + (R_{3B})^2}; \quad (1)$$

$$\varphi_{3R} = \arctg\left(\frac{R_{3B}}{L_{3C}}\right), \quad (2)$$

где  $L_{3C}$  – расстояние между опорой коромысла  $Д$  и кинематической парой «коромысло-ползун»  $П$ ;  $\varphi_{3R}$  – угол между осью  $x$  и отрезком  $ПД$ .

Если  $L_{3B}$  находится на левой стороне оси  $y$ , то  $L_{3B}$  принимает отрицательное значение. При этом надо учитывать, что в таком положении угол  $\varphi_3$  поворота коромысла (рис.2) имеет значение близкое к  $\pi$ . Тогда числовое значение радиуса кривизны  $R_{3B}$ , определяемое по формуле (2), имеет неверное решение.

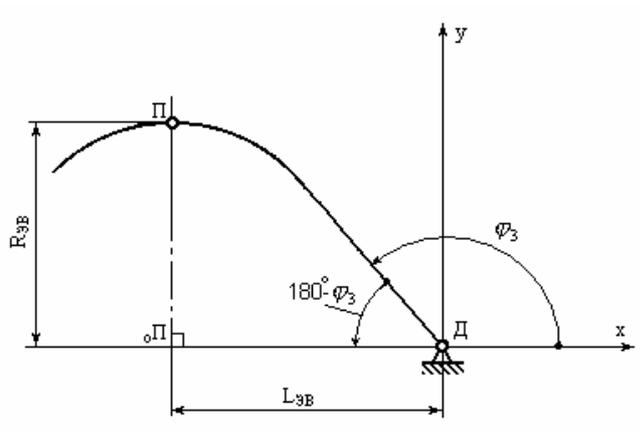


Рис. 2. Положение угла поворота коромысла от  $L_{ПД}$

Поэтому для определения радиуса  $R_{эв}$  эвольвенты в таком положении коромысла, используем уравнение:

$$R_{эв} = L_{эв} (\pi - \varphi_3). \quad (3)$$

Необходимо отметить, что такие положения коромысла встречаются в шарнирно-четырёхзвенных механизмах с наибольшим коромыслом.

Для определения скорости точки П относительно точки Д, запишем уравнение:

$$V_{П} = \omega_3 L_{ПД},$$

где  $\omega_3$  – угловая скорость коромысла.

Скорость перемещения ползуна  $V_{ny}$  определяется проецированием  $V_{П}$  на саму направляющую оси ползуна, т. е.

$$V_{ny} = V_{П} \cos \varphi_{3R}. \quad (4)$$

Скорость  $V_{nx}$  точки П относительно коромысла определяется из проекции  $V_{П}$  на ось x, т. е.

$$V_{nx} = V_{П} \sin \varphi_{3R}. \quad (5)$$

Необходимо отметить, что направление линейной скорости  $V_{П}$  точки контакта коромысла и ползуна относительно точки Д определяется согласно принципу часовой стрелки.

При определении ускорения выходного звена расчет ведем только для ползуна, ускорения остальных звеньев определяются по методике, приведенной в работах [1, 2]. Так как, ползун соединен с коромыслом высшей кинематической парой, для построения расчетной схемы рассмотрим коромысло вместе с ползуном. Линейное ускорение  $a_c$  точки С и угловое ускорение  $\mathcal{E}_3$  коромысла при этом должны быть известны.

Для определения ускорения точки П относительно опоры Д и направляющей оси ползуна, используем расчетную схему, приведенную на рис. 3.

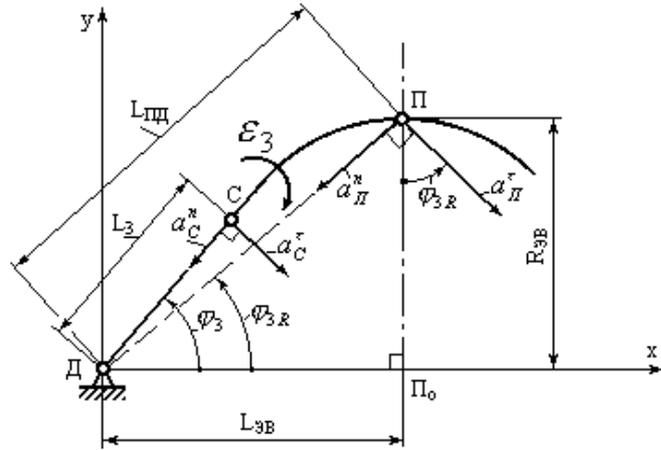


Рис. 3 Расчетная схема для определения ускорения  
 Нормальная и тангенциальная составляющие ускорения точки П относительно опоры Д определяются из уравнений:

$$a_{\Pi}^n = \frac{V_{\Pi}^2}{L_{\Pi Д}} \quad \text{и} \quad a_{\Pi}^{\tau} = \varepsilon_3 L_{\Pi Д},$$

где  $\varepsilon_3$  – угловое ускорение коромысла.

Полное ускорение  $a_{\Pi}$  точки П относительно точки Д определяется по следующей формуле:

$$a_{\Pi} = \sqrt{(a_{\Pi}^n)^2 + (a_{\Pi}^{\tau})^2}.$$

Для определения ускорения  $a_{\Pi y}$  ползуна по оси его направляющей, проецируем  $a_{\Pi}$  на ось y (рис.4):

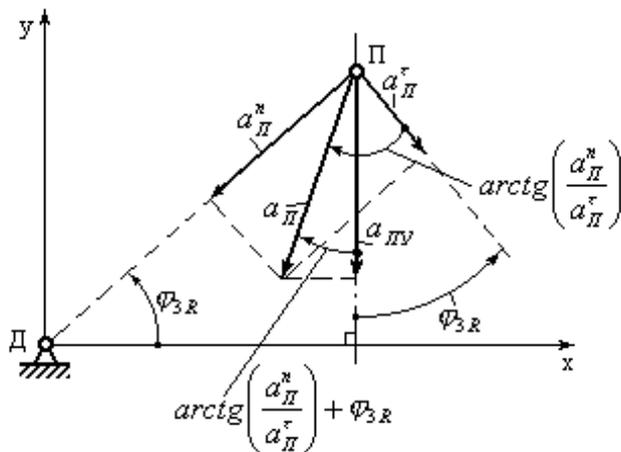


Рис. 4. Расчетная схема определения полного ускорения.

$$a_{\Pi y} = a_{\Pi} \cos \left[ \arctg \left( \frac{a_{\Pi}^n}{a_{\Pi}^{\tau}} \right) + \varphi_{3К} \right]. \quad (6)$$

Умножая уравнение (6) на функцию  $\text{sgn}(a_{\Pi}^{\tau})$ , обеспечиваем необходимую точность определения направления ускорения  $a_{\Pi V}$  относительно стойки Д.

$$a_{\Pi V} = a_{\Pi} \cos \left[ \arctg \left( \frac{a_{\Pi}^n}{a_{\Pi}^{\tau}} \right) + \varphi_{3K} \right] \text{sgn}(a_{\Pi}^{\tau}). \quad (7)$$

Для зеркального отражения рассматриваемого коромысла (рис.6) сумма углов  $\varphi_{3K}$  и  $\arctg \left( \frac{a_{\Pi}^n}{a_{\Pi}^{\tau}} \right)$  не может определить истинное значение угла между вектором  $a_n$  и направляющей оси ползуна. Поэтому, один из углов умножим на функцию  $\text{sgn}(L_{36})$ , тогда уравнение (7) для расчетной схемы, приведенной на рисунке 5, примет вид:

$$a_{\Pi V} = a_{\Pi} \cos \left[ \arctg \left( \frac{a_{\Pi}^n}{a_{\Pi}^{\tau}} \right) + \varphi_{3K} \text{sgn}(L_{36}) \right] \text{sgn}(a_{\Pi}^{\tau}). \quad (8)$$

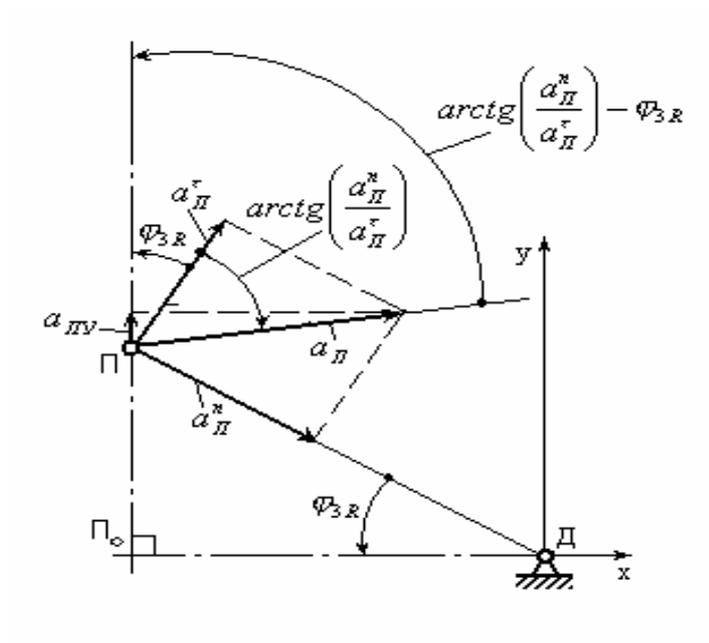


Рис. 5. Расчетная схема обеспечения точности определения ускорения.

Необходимо отметить, что в уравнениях (7) и (8) направление вектора  $a_{\Pi V}$  определяется из углов  $\cos \left[ \arctg \left( \frac{a_{\Pi}^n}{a_{\Pi}^{\tau}} \right) + \varphi_{3K} \text{sgn}(L_{36}) \right]$  и  $\text{sgn}(a_{\Pi}^{\tau})$ .

Следовательно, полученные уравнения (7) и (8) справедливы для соответствующих положений (рис. 4, 5) механизма. Отрицательное значение касательного ускорения  $a_n^{\tau}$  соответствует угловому ускорению  $\mathcal{E}_3$  коромысла, направленного по часовой стрелке, относительно точки Д.

На основе полученных аналитических уравнений составлена программа для вычисления скоростей и ускорений пятизвенного механизма на ЭВМ. Результаты

вычислений, произведенных графическим методом, совпали с результатами, полученными аналитическим методом на ЭВМ, которые представлены в виде графиков зависимостей на рис. 6 - 10.

Из графиков зависимостей  $U_{31}$  и  $U_{21}$  от обобщенной координаты  $\varphi_1$  (рис.6) видно, что передаточные отношения  $U_{31}$  и  $U_{21}$  достигают максимальных значений в момент удара.

Из графиков скоростей  $V_{CB}$ ,  $V_C$ ,  $V_{ПВ}$  и ускорений  $a_{CB}$ ,  $a_C$ ,  $a_{ПВ}$  также видно, что их числовые значения в особом положении достигают максимальных значений (рис. 7 и 8). Также следует отметить, что по сравнению со скоростями  $V_{CB}$ ,  $V_C$  и ускорениями  $a_{CB}$ ,  $a_C$  скорость  $V_{ПВ}$  и ускорение  $a_{ПВ}$  ползуна имеют большие значения.

Нетрудно заметить, что на рисунках значения скорости  $V_{ПВ}$  и ускорения  $a_{ПВ}$  ближе к удару имеют намного большие значения по сравнению со скоростями  $V_{S2}$ ,  $V_{S3}$  и ускорений  $a_{S2}$ ,  $a_{S3}$  центров тяжести звеньев. Здесь следует отметить, что ползун перемещается по направляющей, следовательно, скорость и ускорение центра тяжести ползуна имеют те же значения, что и  $V_{ПВ}$  и  $a_{ПВ}$ .

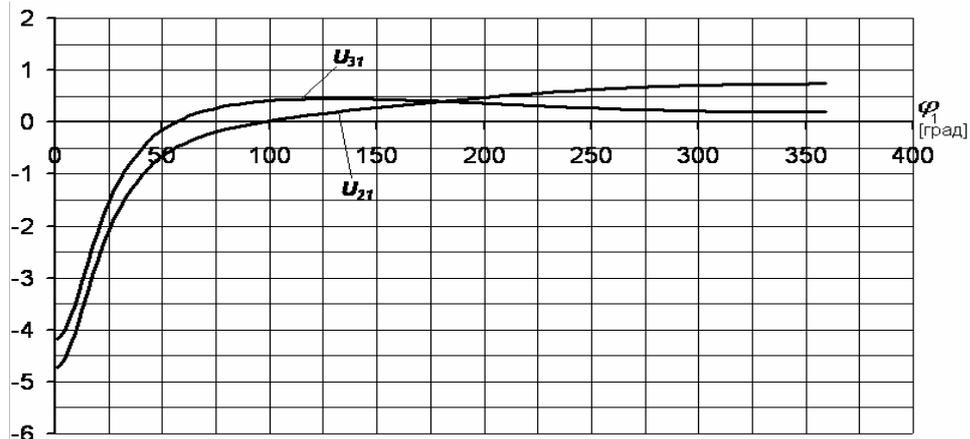


Рис. 6. Зависимость передаточных отношений  $U_{21}$  и  $U_{31}$  от угла  $\varphi_1$ .

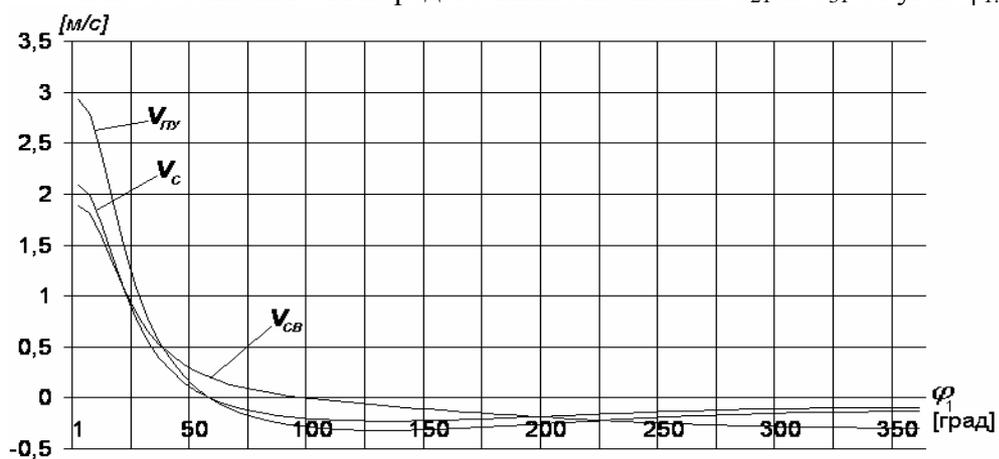


Рис. 7. Зависимость скоростей  $V_{cb}$ ,  $V_c$  и  $V_{pv}$  от угла  $\varphi_1$ .

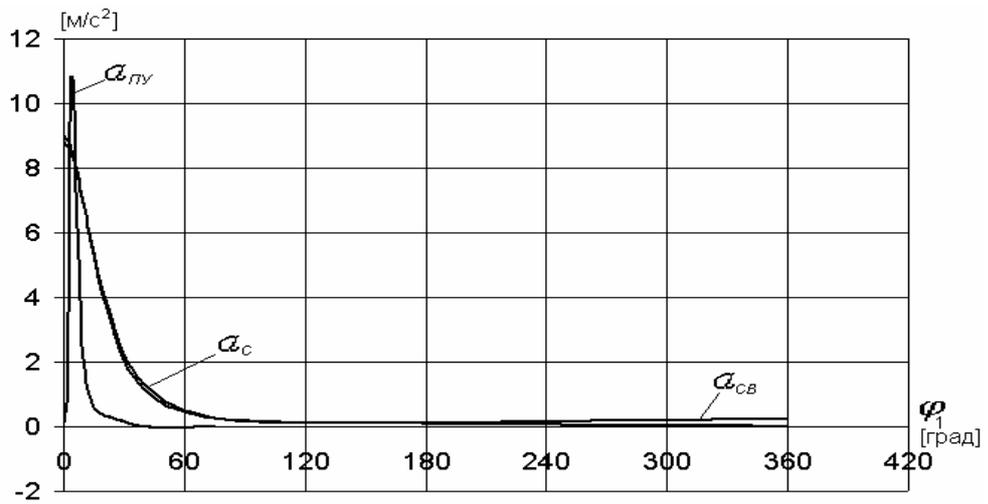


Рис. 8. Зависимость ускорений  $a_{CB}$ ,  $a_C$  и  $a_{ПУ}$  от угла  $\varphi_1$ .

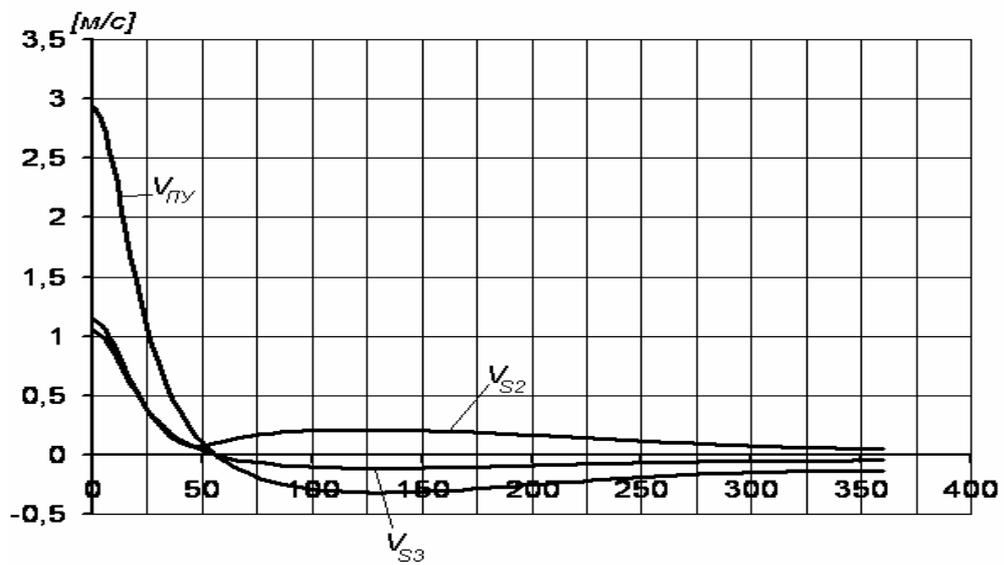


Рис. 9. Зависимость скоростей  $V_{S2}$ ,  $V_{S3}$  и  $V_{ПУ}$  от угла  $\varphi_1$ .

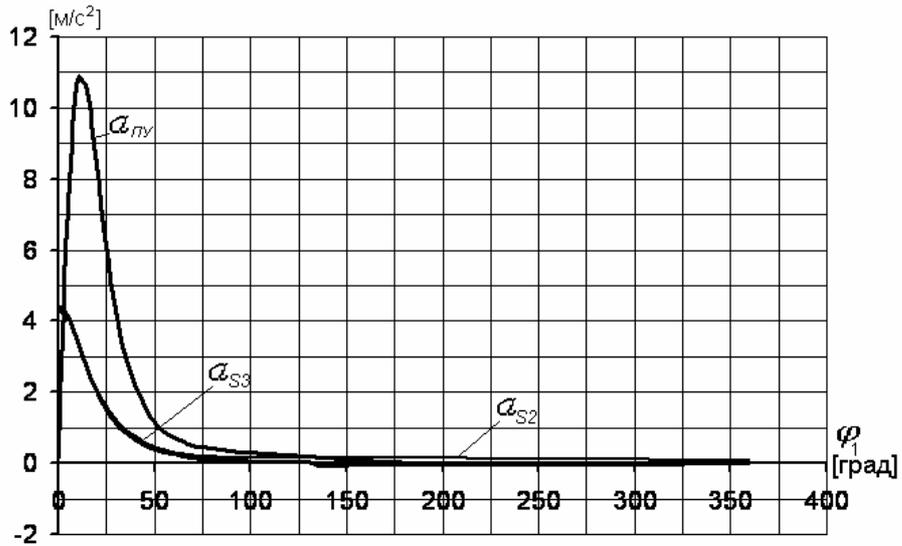


Рис. 10. Зависимость ускорений  $a_{CB}$ ,  $a_C$  и  $a_{ПУ}$  от угла  $\varphi_1$ .

### Литература

1. Абдраимов С., Зиялиев К.Ж., Аканов Д.К. Кинематический анализ особых положений шарнирно-четырёхзвенных ударных механизмов/Мат. межд. конф. «Механизмы переменной структуры и виброударные машины». - Бишкек, 1999. - С. 68-73.
2. Абдраимов С., Зиялиев К.Ж., Абдраимова Н.С., Чинбаев О.К., Такырбашев А.Б. Кинематический анализ шарнирно-четырёхзвенного ударного механизма / Мат. межд. научн.-практ. конф. «Повышение эффективных показателей транспортных, строительного-дорожных машин и коммуникаций в условиях высокогорья и жаркого климата». - Бишкек, 2003. - С. 389-394.
3. Зиновьев В.А. Курс теории механизмов и машин. - М., 1972. -384 с.