

УДК 67.05

## КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КУЛИСНОГО МЕХАНИЗМА

*Токтакунов Жолдошбек Шамуканбетович*, к.т.н., доцент, Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова, Кыргызстан, г. Каракол

*Зиялиев Кадырбек Жанузаквич*, к.т.н., профессор, Иссык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова, Кыргызстан, г. Каракол

*Аканов Доолотбек Кусеинович*, к.т.н., доцент, Иссык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова, Кыргызстан, г. Каракол

*Такырбашев Амангелди Бексултанович*, к.т.н., доцент, Иссык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова, Кыргызстан, г. Каракол

**Аннотация.** В работе рассмотрены особенности работы кулисного механизма, имеющего длину кулисного камня. Разработана методика аналитического определения кинематических характеристик выходного звена в зависимости от положения ведущего звена. Определены передаточные отношения, числовые значения нормальных и тангенциальных ускорений звеньев механизма. Такую методику можно использовать для всех возможных схем кулисного механизма и в различных вариациях параметров звеньев.

**Ключевые слова:** кулисный механизм, кулисный камень, угловые перемещения, угловая скорость, угловое ускорение, передаточное отношение.

## KINEMATIC ANALYSIS OF THE ROCKER MECHANISM

*Toktakunov Zholdoshbek Shamukanbetovich*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kul State University named after K. Tynystanova, Kyrgyzstan, Karakol

*Ziyaliev Kadyrbek Zhanuzakovich*, Ph.D., professor, Issyk-Kul State University named after K. Tynystanova, Kyrgyzstan, Karakol

*Akanov Doolotbek Kuseinovich*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Issyk-Kul State University named after K. Tynystanova, Kyrgyzstan, Karakol

*Takyrbashev Amangeldi Beksultanovich*, Ph.D., associate professor, Issyk-Kul State University named after K. Tynystanova, Kyrgyzstan, Karakol

**Abstract:** The paper discusses the features of the work of the rocker mechanism, which has the length of the rocker stone. A technique has been developed for the analytical determination of the kinematic characteristics of the output link depending on the position of the driving link. The gear ratios, the numerical values of the normal and tangential accelerations of the links of the mechanism are determined. This technique can be used for all possible schemes of the rocker mechanism and in various variations of the parameters of the links.

**Key words:** rocker mechanism, rocker rock, rocker rock, angular displacement, angular velocity, angular acceleration, gear ratios.

Рассмотрим кулисный механизм, имеющий смещение кулисного камня  $l_2$  (рис.1). Начало системы координат  $AxHy$  совмещено с осью вращения кривошипа 1, а ось  $Ax$  абсцисс и основание 4 лежат в одной линии.

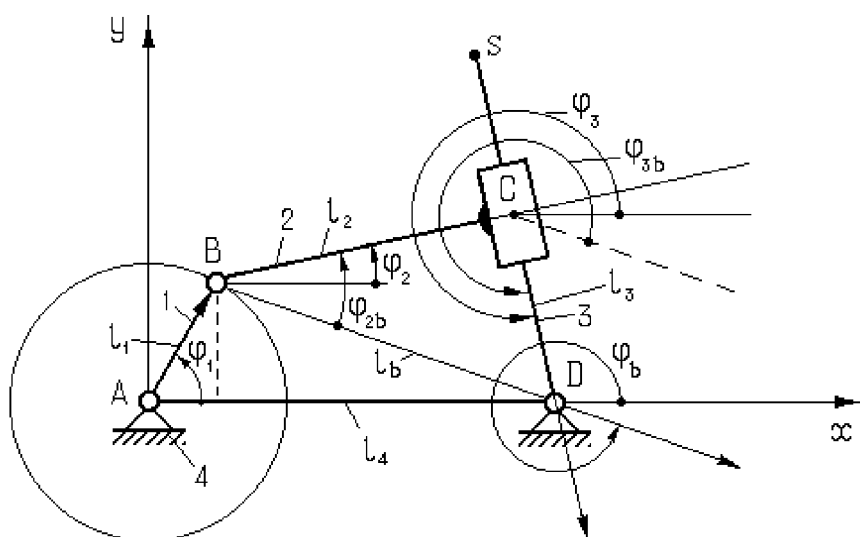


Рис.1

Векторные уравнения записываем в следующем виде:

$$l_2 + l_3 = l_b; \quad l_1 + l_b = l_4$$

или

$$l_1 + l_2 + l_3 = l_4$$

где  $l_1, l_2, l_3$  и  $l_4$  - соответственно длины кривошипа, камня, кулисы и основания;  $l_b$  - длина базового вектора.

Последнее уравнение проектируем на координатные оси системы координат АХУ:

$$l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \cos \varphi_3 = l_4 \cos \varphi_4 = l_4;$$

$$l_1 \sin \varphi_1 + l_2 \sin \varphi_2 + l_3 \sin \varphi_3 = l_4 \sin \varphi_4 = 0. \quad (1)$$

Координаты точек В и D базового вектора  $l_b$  структурной группы следующие:

$$X_B = l_1 \cos \varphi_1; \quad Y_B = l_1 \sin \varphi_1; \quad X_D = l_4; \quad Y_D = 0 \quad (2)$$

Длины проекций базового вектора  $l_{bx}$  и  $l_{by}$  на координатные оси

$$l_{bx} = X_D - X_B = l_4 - l_1 \cos \varphi_1; \quad l_{by} = Y_D - Y_B = -l_1 \sin \varphi_1. \quad (3)$$

Длина базового вектора  $l_b$

$$l_b = \sqrt{(l_4 - l_1 \cos \varphi_1)^2 + (-l_1 \sin \varphi_1)^2} = \sqrt{l_4^2 - 2l_1 l_4 \cos \varphi_1 + l_1^2},$$

или

$$l_b = l_1 \sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \cos \varphi_1}, \quad (4)$$

где  $\lambda_4 = \frac{l_4}{l_1}$ .

Направляющий угол  $\varphi_b$  базового вектора  $l_b$

$$\operatorname{tg} \varphi_b = \frac{Y_D - Y_B}{X_D - X_B} = \frac{-l_1 \operatorname{Sin} \varphi_1}{l_4 - l_1 \operatorname{Cos} \varphi_1} = -\frac{\operatorname{Sin} \varphi_1}{\lambda_4 - \operatorname{Cos} \varphi_1} \quad (5)$$

Длина вектора  $l_3$  переменна, а угол между векторами  $l_2$  и  $l_3$  прямой, тогда

$$l_3 = \sqrt{l_6^2 - l_2^2} \quad (6)$$

Подставляя в (6) соотношение (4), получим

$$l_3 = l_1 \sqrt{1 + \lambda_4^2 - \lambda_2^2 - 2\lambda_4 \operatorname{Cos} \varphi_1}$$

или 
$$\lambda_3 = \sqrt{1 + \lambda_4^2 - \lambda_2^2 - 2\lambda_4 \operatorname{Cos} \varphi_1} \quad (7)$$

Положение векторов  $l_2$  и  $l_3$  связанных со звеньями 2 и 3 двухповодковой группы, определяем относительно базового вектора  $l_b$  углами  $\varphi_{2b}$  и  $\varphi_{3b}$ , которые находим по теореме косинусов из треугольника BCD

$$\operatorname{Cos} \varphi_{2b} = l_2 / l_b, \quad \text{или} \quad \operatorname{Cos} \varphi_{2b} = \frac{\lambda_2}{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \operatorname{Cos} \varphi_1}} \quad (8)$$

$$\operatorname{Cos} \varphi_{3b} = \frac{l_3}{l_B} \quad \text{или} \quad \operatorname{Cos} \varphi_{3b} = \frac{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - \lambda_2^2 - 2\lambda_4 \operatorname{Cos} \varphi_1}}{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \operatorname{Cos} \varphi_1}} \quad (9)$$

Направляющие углы  $\varphi_{2b}$  и  $\varphi_{3b}$ , векторов  $l_2$  и  $l_3$ ,

$$\varphi_2 = \varphi_b + \varphi_{2b};$$

$$\varphi_3 = \varphi_b + \varphi_{3b} \quad (10)$$

После подстановки в (10) соотношении (5), (8) и (9) имеем

$$\varphi_2 = \operatorname{arctg} \left( -\frac{\operatorname{Sin} \varphi_1}{\lambda_4 - \operatorname{Cos} \varphi_1} \right) + \operatorname{arcCos} \frac{\lambda_2}{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \operatorname{Cos} \varphi_1}}; \quad (11)$$

$$\varphi_3 = \operatorname{arctg} \left( -\frac{\operatorname{Sin} \varphi_1}{\lambda_4 - \operatorname{Cos} \varphi_1} \right) + \operatorname{arcCos} \frac{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - \lambda_2^2 - 2\lambda_4 \operatorname{Cos} \varphi_1}}{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \operatorname{Cos} \varphi_1}}; \quad (12)$$

Координаты точки C

$$X_C = l_1(\operatorname{Cos} \varphi_1 + \lambda_2 \operatorname{Cos} \varphi_2);$$

$$Y_C = l_1(\operatorname{Sin} \varphi_1 + \lambda_2 \operatorname{Sin} \varphi_2). \quad (13)$$

Координаты точки S звена 3, расположенной на расстоянии  $l_{SC} = l_S - l_3$

$$X_S = l_1 \operatorname{Cos} \varphi_1 + l_2 \operatorname{Cos} \varphi_2 + (l_S - l_3) \operatorname{Cos} \varphi_3,$$

$$Y_S = l_1 \operatorname{Sin} \varphi_1 + l_2 \operatorname{Sin} \varphi_2 + (l_S - l_3) \operatorname{Sin} \varphi_3. \quad (14)$$

Скорости ускорения звеньев кулисного механизма определяем из расчетных схем

механизмов.

Из плана скоростей (рис.2), построенного в произвольном плане на основе плана положений угол  $\beta$  между вектором скорости кривошипа 1 и кулисой 3 равно

$$\beta = \varphi_1 - \varphi_2. \quad (15)$$

Подставляя в уравнение (15) значение (11), получим

$$\beta = \varphi_1 - \left[ \arctg \left( -\frac{\text{Sin} \varphi_1}{\lambda_4 - \text{Cos} \varphi_1} \right) + \text{arcCos} \frac{\lambda_2}{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \text{Cos} \varphi_1}} \right]. \quad (16)$$

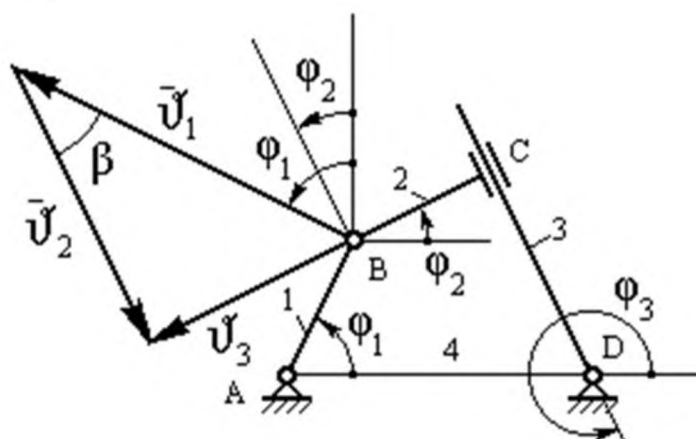


Рис.2. План скоростей механизма

Согласно теореме синусов, находим скорости звеньев 2 и 3

$$v_2 = v_1 \text{Cos} \beta, \text{ или}$$

$$g_2 = \omega_1 l_1 \text{Cos} \left[ \varphi_1 - \arctg \left( -\frac{\text{Sin} \varphi_1}{\lambda_4 - \text{Cos} \varphi_1} \right) - \text{arcCos} \frac{\lambda_2}{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \text{Cos} \varphi_1}} \right], \quad (17)$$

$$v_3 = v_1 \text{Sin} \beta, \text{ или}$$

$$g_3 = \omega_1 l_1 \text{Sin} \left[ \varphi_1 - \arctg \left( -\frac{\text{Sin} \varphi_1}{\lambda_4 - \text{Cos} \varphi_1} \right) - \text{arcCos} \frac{\lambda_2}{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \text{Cos} \varphi_1}} \right], \quad (18)$$

Так как, скорость определена для точки С кулисы, необходимо определить угловую скорость кулисы. Угловая скорость звена 2 равна угловой скорости звена 3, т.к. эти звенья образуют поступательную пару (угловая скорость относительного движения звеньев в этой паре равна нулю).

$$\omega_3 = \omega_2 = \frac{\omega_1 \text{Sin} \left[ \varphi_1 - \arctg \left( -\frac{\text{Sin} \varphi_1}{\lambda_4 - \text{Cos} \varphi_1} \right) - \text{arcCos} \frac{\lambda_2}{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \text{Cos} \varphi_1}} \right]}{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - \lambda_2^2 - 2\lambda_4 \text{Cos} \varphi_1}}. \quad (19)$$

или

$$\omega_3 = \omega_2 = \frac{\omega_1 \cos \left[ \varphi_1 - \arctg \left( -\frac{\sin \varphi_1}{\lambda_4 - \cos \varphi_1} \right) - \arccos \frac{\lambda_2}{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \cos \varphi_1}} \right]}{\lambda_2} \quad (20)$$

Передаточные отношения звеньев 2 и 3 соответственно будут равны:

$$U_{21} = l_1 \cos \left[ \varphi_1 - \arctg \left( -\frac{\sin \varphi_1}{\lambda_4 - \cos \varphi_1} \right) - \arccos \frac{\lambda_2}{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \cos \varphi_1}} \right], \quad (21)$$

$$U_{31} = l_1 \sin \left[ \varphi_1 - \arctg \left( -\frac{\sin \varphi_1}{\lambda_4 - \cos \varphi_1} \right) - \arccos \frac{\lambda_2}{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \cos \varphi_1}} \right]. \quad (22)$$

Для определения ускорений звеньев кулисного механизма аналитическим методом построим план ускорений, который служит расчетной схемой (рис.3).

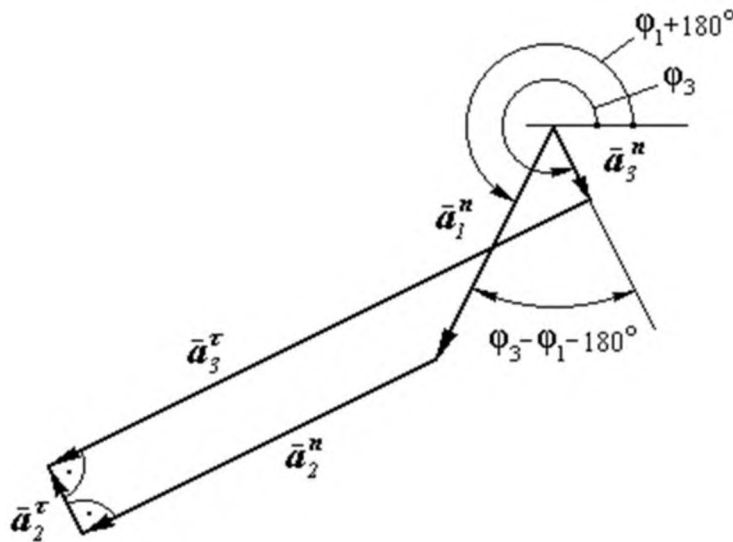


Рис.3. План ускорений кулисного механизма

Числовые значения нормальных ускорений звеньев 2 и 3 соответственно определяем по формулам:

$$a_2^n = \frac{g_2^2}{l_2}, \quad (23)$$

$$a_3^n = \frac{g_3^2}{l_3} = \frac{g_3^2}{l_1 \sqrt{1 + \lambda_4^2 - \lambda_2^2 - 2\lambda_4 \cos \varphi_1}} \quad (24)$$

Из плана ускорений определяем тангенциальное ускорение звена 2:

$$a_2^{\tau} = a_1^n \cos(\varphi_3 - \varphi_1 - 180^\circ) - a_3^n.$$

Учитывая, что

$$\cos(\varphi_3 - \varphi_1 - 180^\circ) = -\cos(\varphi_3 - \varphi_1),$$

имеем

$$a_2^{\tau} = -a_1^{\tau} \cos(\varphi_3 - \varphi_1) - a_3^{\tau} \quad (25)$$

Тангенциальное ускорение звена 3 определяем по формуле

$$a_3^{\tau} = a_2^n + a_1^n \cos(\varphi_3 - \varphi_1 - 90^\circ),$$

Учитывая, что

$$\cos(\varphi_3 - \varphi_1 - 90^\circ) = -\sin(\varphi_3 - \varphi_1),$$

окончательно имеем

$$a_3^{\tau} = a_2^n - a_1^n \sin(\varphi_3 - \varphi_1). \quad (26)$$

Методика определения кинематических параметров кулисных механизмов пригодна для различной комбинации механизма. [8]

### Литература

1. Абдраимов С., Токтакунов Ж.Ш. Аналитическое определение кинематики синусного механизма переменной структуры. //Вестник ИГУ. - Каракол, 1999, №1, - с. 38-43.
2. Абдраимов С., Токтакунов Ж.Ш., Чинбаев О.К. Анализ движений звеньев кулисных МПС, имеющих длину камня. //Материалы международной конференции, посвященной 45-летию образования КТУ им.И.Раззакова. Математика. Физика. Механика. - Бишкек, 2000, с. 125-131.
3. Кожевников С.Н. Основания структурного синтеза механизмов. Киев. «Наук. думка». 1979г. 232 с.
4. Левитский Н.И. Теория механизмов и машин. - М.: Наука, 1979. - 575с.
5. Патент №004348. Кривошипно-кулисный механизм для передачи возвратно-поступательного движения. Абдраимов С., Кидибаев М.М., Токтакунов Ж.Ш. Бюллетень ЕАПВ, - Москва, 2004, №2.
6. Токтакунов Ж.Ш., Зиялиев К.Ж., Такырбашев А.Б., Дюшембаев Ж.Ж. Кулисные механизмы с особыми положениями. Современные проблемы теории машин. Научно-образовательный журнал №9/2020. г. Новокузнецк. «Машиностр», 2020.
7. Фролов К.В. Теория механизмов и машин. - М.: Высшая школа, 1987.-496с.
8. Маткеримов, Т.Ы. Исследование скорости движения транспортного потока в пригородных населенных пунктах [Текст] // Т.Ы. Маткеримов, Э.Т. Кадыров. Бишкек: Известия КГТУ им. И. Раззакова. № 3 (39) Ч. II, 2016. – С. 19-24.