

DOI: <https://doi.org/10.69722/1694-8211-2024-56-205-210>

УДК: 621.01

*Зиялиев К. Ж., докт. техн. наук, проф., [ziialiev@mail.ru](mailto:ziialiev@mail.ru)*

*ORCID: 0009-0007-3352-1151*

*Чинбаев О. К., ст. преподаватель, [oturbek.chinbaev@iksu.kg](mailto:oturbek.chinbaev@iksu.kg)*

*ORCID: 0009-0001-3279-9844*

*Дюшембаев Ж. Ж., преподаватель, [zheenbek@iksu.kg](mailto:zheenbek@iksu.kg)*

*ИГУ им. К. Тыныстанова, г. Каракол, Кыргызстан*

## ИССЛЕДОВАНИЕ «ОСОБЫХ ПОЛОЖЕНИЙ» НА ПРИМЕРЕ ШАРНИРНО-ЧЕТЫРЕХЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА.

В данной научной статье рассмотрены виды «особых положений» шарнирно-четырёхзвенных механизмов, их особенности и условия их возникновения. Установлено, что существуют шарнирно-четырёхзвенные механизмы с одним, двумя и тремя особыми положениями. В то же время также определено, что механизмы с двумя особыми положениями по расположению особых положений относительно межопорного расстояния делятся на механизмы с симметричными и несимметричными особыми положениями. Подробно рассмотрено влияние «особых положений» на изменение закона движения звеньев механизма и возможности их использования при создании виброударных машин.

**Ключевые слова:** особое положение, кривошип, шатун, коромысло, механизм, угловые координаты, закон движения.

*Зиялиев К. Ж., тех. илмд. докт., профессор*

*[ziialiev@mail.ru](mailto:ziialiev@mail.ru)*

*ORCID: 0009-0007-3352-1151*

*Чинбаев О. К., ага окутуучу*

*[oturbek.chinbaev@iksu.kg](mailto:oturbek.chinbaev@iksu.kg)*

*ORCID: 0009-0001-3279-9844*

*Дюшембаев Ж. Ж., окутуучу, [zheenbek@iksu.kg](mailto:zheenbek@iksu.kg)*

*К. Тыныстанов ат. БМУ, Каракол ш., Кыргызстан*

## ТӨРТ ТИЛКЕЛҮҮ ШАРНИР МЕХАНИЗМИНИН МИСАЛЫНДА "ӨЗГӨЧӨ АБАЛДАРДЫ" ИЗИЛДӨӨ

Бул илимий макалада шарнирлүү-төрт звенолуу механизмдердин «өзгөчө абалдарынын» түрлөрү, алардын өзгөчөлүктөрү жана алардын жаралышынын шарттары каралган. Шарнирлүү-төрт звенолуу механизмдер бир, эки жана үч өзгөчө абалдуу болору аныкталган. Ошол эле учурда эки өзгөчө абалдуу шарнирлүү-төрт звенолуу механизмдер өзгөчө абалдарынын таяныч аралыгына карата жайгашуусу боюнча симметриялуу жана симметриялуу эмес болуп эки түрдө болору аныкталган. Механизмдердин звенолорунун кыймыл законунун өзгөрүүсүнө «өзгөчө абалдардын» тийгизген таасири жана аларды титиретип ургулоочу машиналарды түзүүгө колдонуу мүмкүнчүлүктөрү каралган.

**Түйүндүү сөздөр:** өзгөчө абал, кривошип, шатун, коромысло, механизм, бурчтук координаталар, кыймыл закону.

*Ziyaliev K. Z, doct. tech. science., prof.,*

*ORCID: 0009-0007-3352-1151*

*Chinbaev O. K., senior lecturer*

*[oturbek.chinbaev@iksu.kg](mailto:oturbek.chinbaev@iksu.kg)*

*ORCID: 0009-0001-3279-9844*

*Diushembaev Z. Z., lecturer, [zheenbek@iksu.kg](mailto:zheenbek@iksu.kg)*

*ISU named after K. Tynystanov, Karakol, Kyrgyzstan*

STUDY OF "SPECIAL POSITIONS" USING THE EXAMPLE OF A FOUR-BAR HINGE MECHANISM

This scientific article examines the types of "special provisions" of spherical four-link mechanisms, their features and conditions of their occurrence. It has been established that there are articulated four-link mechanisms with one, two and three special positions. At the same time, it is also determined that mechanisms with two special positions are divided into mechanisms with symmetrical and asymmetrical special positions according to the location of special positions relative to the inter-support distance. The influence of "special provisions" on the change in the law of movement of the links of the mechanism and the possibility of their use in the creation of vibration impact machines is considered in detail.

**Key words:** Special position, crank, connecting rod, rocker arm, mechanism, angular coordinates, law of motion.

На протяжении ряда лет в Инженерной академии Кыргызской Республики и Институте машиноведения, автоматике и геомеханики НАН КР совместно с высшими учебными заведениями, имеющими технические направления, проводятся научно-исследовательские работы по созданию и совершенствованию различных машин на основе механизмов переменной структуры. К таким машинам относятся отбойные молотки, молоты, перфораторы, уплотнительные машины и др.

Известно, что во всех ударных механизмах, созданных на основе механизмов переменной структуры, существует «особое» положение, при котором возникает неопределенность в движении звеньев, которая исключает возможность проведения кинематического анализа обычными традиционными методами. Для решения данной проблемы необходимо составлять новые формулы для определения угловых координат звеньев шарнирно-четырёхзвенного механизма, включающие в себя дополнительные элементы, учитывающие особенности кинематических свойств данных механизмов. Следует теоретически сформулировать условия существования шарнирно-рычажных механизмов с особыми положениями и определить их виды.

В особом положении механизма при движении ведущего звена в определенном направлении, ведомое звено может двигаться в том же или ином направлении. Следовательно, в особом положении механизм может переходить из одного закона движения в другой в процессе работы (без разборки и сборки механизма), т.е.  $\varphi_3(\varphi_1) \leftrightarrow \varphi_3^I(\varphi_1)$  (рис. 1), кроме того некоторые из них могут переходить из второго класса в первый и наоборот.

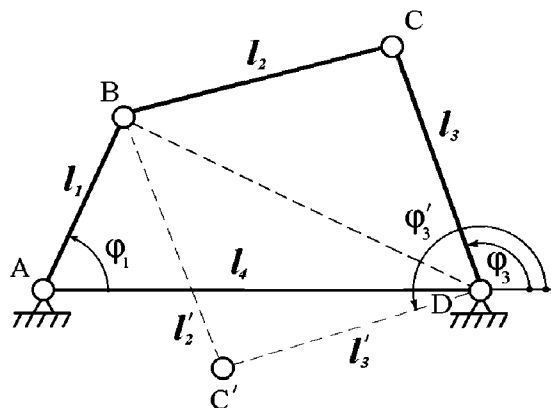


Рис. 1. Две схемы сборки механизма, соответствующие первому закону движения звеньев  $\varphi_3(\varphi_1)$  и второму закону движения звеньев  $\varphi_3^I(\varphi_1)$ .

Угловые координаты  $\varphi_3$  и  $\varphi_3^*$  определяются по следующим формулам [1]:

$$\varphi_3 = \operatorname{sgn}(-\sin \varphi_1) \cdot \arccos \frac{\lambda_4 - \cos \varphi_1}{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \cos \varphi_1}} + \arccos \frac{\lambda_2^2 - \lambda_3^2 - \lambda_4^2 + 2\lambda_4 \cos \varphi_1 - 1}{2\lambda_3 \sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \cos \varphi_1}}. \quad (1)$$

$$\text{и } \varphi_3^* = \operatorname{sgn}(-\sin \varphi_1) \cdot \arccos \frac{\lambda_4 - \cos \varphi_1}{\sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \cos \varphi_1}} - \arccos \frac{\lambda_2^2 - \lambda_3^2 - \lambda_4^2 + 2\lambda_4 \cos \varphi_1 - 1}{2\lambda_3 \sqrt{1 + \lambda_4^2 - 2\lambda_4 \cos \varphi_1}} \quad (2)$$

где  $\lambda_2 = l_2 / l_1$ ,  $\lambda_3 = l_3 / l_1$ ,  $\lambda_4 = l_4 / l_1$ .

Неопределенность движений звеньев в особом положении возникает в результате превращения треугольника, вершинами которого являются точки В, С и D (см. рис. 1), в отрезок прямой линии. Закон движения звеньев считается постоянным, если в процессе движения звеньев порядок расположения вышеуказанных точек в треугольнике остается неизменным.

В контуре треугольника по направлению часовой стрелки указанные выше точки могут иметь два варианта последовательности расположения: 1) BCD; 2) BDC<sup>I</sup> (см. рис. 1). Для удобства условно примем следующее: если в процессе работы механизма треугольник имеет контур BCD, т.е. соответствует первому варианту расположения точек, то считаем, что звенья движутся по первому закону движения. Соответственно, если треугольник имеет контур BDC<sup>I</sup> (второй вариант), то закон движения считается вторым. При работе механизма по первому закону угловая координата коромысла определяется углом  $\varphi_3$  (1), а при работе по второму закону – углом  $\varphi_3^*$  (2).

Особое положение механизма возникает, когда шатун располагается в одну линию вместе с правым подвижным звеном (в данном случае рассматриваем только те механизмы, у которых левое звено равно или меньше правого подвижного звена). Следует заметить, что разновидностью особого положения является положение механизма, в котором все звенья выстраиваются в одну линию, за исключением тех случаев, когда длина одного звена равняется сумме длин остальных трех звеньев механизма [2].

Рассмотрим отдельные схемы шарнирно-четырёхзвенных механизмов с особыми положениями и условия их существования. Условием существования особого положения механизма является то, что коромысло (наибольшее коромысло в двухкоромысловом механизме или наибольший кривошип в двухкривошипном механизме) и шатун лежат на одной линии. Это возможно при следующих условиях [2]:

- 1) окружность радиуса  $l_3 - l_2$  ( $l_3 \geq l_2$ ) с центром в точке D пересекается с окружностью радиуса  $l_1$  с центром в точке А (рис. 2);
- 2) окружность радиуса  $l_2 - l_3$  ( $l_2 \geq l_3$ ) с центром в точке D пересекается с окружностью радиуса  $l_1$  с центром в точке А (рис. 3);
- 3) окружность радиуса  $l_3 + l_2$  с центром в точке D пересекается с окружностью радиуса  $l_1$  с центром в точке А (рис. 4).

В зависимости от соотношений длин звеньев, указанные выше условия существования особых положений могут существовать каждое по отдельности или в следующем сочетании: 1) первое и второе; 2) первое и третье; 3) второе и третье; 4) первое, второе и третье.

Второе и третье условия существования особых положений механизмов можно объединить так: если окружность радиуса  $|\ell_3 - \ell_2|$  с центром в точке D пересекается с окружностью радиуса  $\ell_1$  с центром в точке A, то существует особое положение механизма.

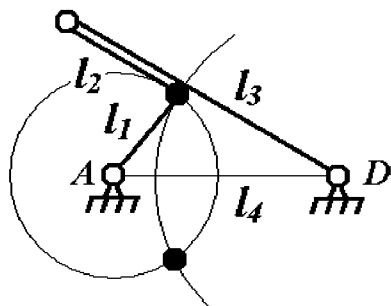


Рис. 1

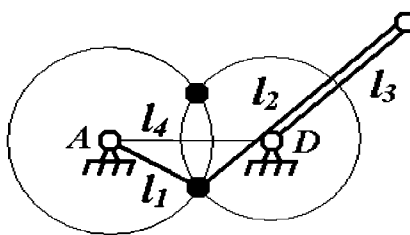


Рис. 2

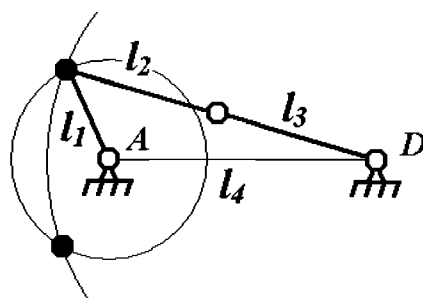


Рис. 3

Количество точек пересечения этих окружностей определяет количество особых положений механизма. Исключением является положение, когда окружность радиуса  $\ell_1$  одновременно пересекается с окружностями радиусов  $\ell_3 - \ell_2$  и  $\ell_3 + \ell_2$  в четырех точках (с каждой окружностью в двух), в этом случае особые положения рассматриваемого механизма определяются только двумя точками, лежащими по одну сторону оси межопорного расстояния в зависимости от того, как собран механизм. Только разобрав его и собрав заново, можно получить остальные два особые положения механизма. Общей точкой соприкосновения первого и второго условий является случай, когда  $\ell_3 = \ell_2$ . При этом и по первому, и по второму условию окружность с центром в точке D превращается в точку. Если эта точка находится на окружности радиуса  $\ell_1$  с центром в точке A, то данный механизм имеет одно особое положение и называется механизмом Галловея, где  $\ell_1 = \ell_4$ .

В качестве примера рассмотрим один из двухкоромысловых механизмов с тремя особыми положениями с соотношениями длин звеньев  $\ell_2 < \ell_1 < \ell_3$ ;  $\ell_1 < \ell_3 - \ell_1$  при  $\ell_4 = \ell_3 + \ell_2 - \ell_1$ . (рис. 4).

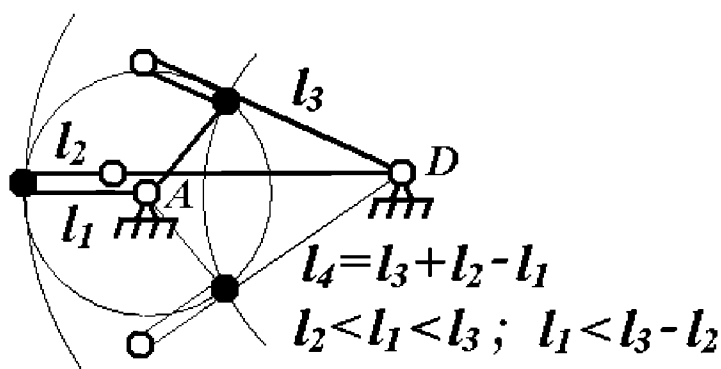


Рис. 4

Графики зависимостей угловых координат  $\varphi_3$  и  $\varphi_3^*$  от угла  $\varphi_1$  для данного механизма приведены на рис. 5.

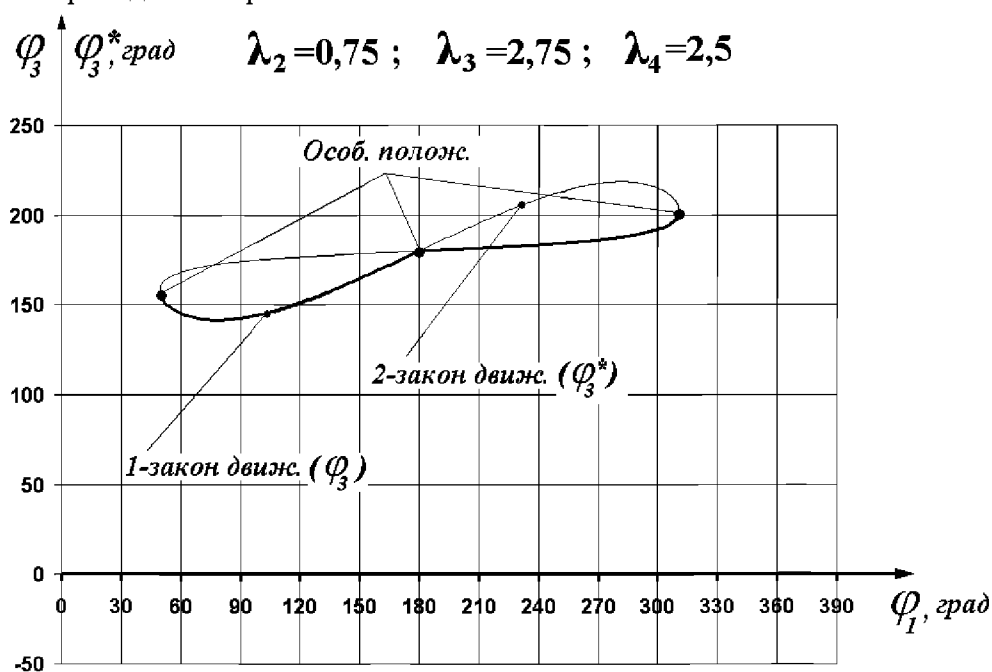


Рис. 5. Графики зависимостей угловых координат  $\varphi_3$  и  $\varphi_3^*$  от угла  $\varphi_1$  для механизма с соотношениями длин звеньев  $l_2 < l_1 < l_3; l_1 < l_3 - l_2$  при

$$l_4 = l_3 + l_2 - l_1.$$

В результате проведенного анализа всех возможных вариантов особых положений нами было установлено, что механизмы с особыми положениями могут быть двухкоромысловыми, двухкривошипными и кривошипно-коромысловыми. Причем двухкоромысловые механизмы все без исключения могут иметь особые положения. Существуют следующие виды двухкоромысловых механизмов с особыми положениями:

- 1) двухкоромысловые механизмы с двумя особыми положениями;
- 2) двухкоромысловые механизмы с тремя особыми положениями.

Двухкоромысловые механизмы с двумя особыми положениями в свою очередь

подразделяются на две подгруппы: механизмы с симметричными (относительно межопорного расстояния) особыми положениями и механизмы с несимметричными особыми положениями [2, 3].

Следует отметить, что во всех двухкоромысловых механизмах с тремя особыми положениями два положения симметричны относительно оси межопорного расстояния, и в этих особых положениях шатун и наибольшее коромысло выстроены в одну линию. В третьем особом положении все четыре звена механизма выстраиваются в одну линию.

В отличие от двухкоромысловых механизмов, не все кривошипно-коромысловые механизмы имеют особое положение, а только те, которые удовлетворяют условиям:

$$1) l_4 = l_1 + l_3 - l_2; \quad l_1 < l_2 < l_3,$$

$$2) l_4 = l_1 + l_2 - l_3; \quad l_1 < l_3 < l_2,$$

$$3) l_4 = l_3 + l_2 - l_1; \quad l_1 = \min.$$

Условие существования двухкривошипных механизмов с особыми положениями математически можно выразить как:

$$l_4 = |l_1 - |l_3 - l_2||; \quad |l_3 - l_2| < l_1.$$

Кроме рассмотренных выше механизмов с особыми положениями имеются механизмы, которые способны в особом положении переходить из класса в класс. К ним относятся механизм с соотношением длин звеньев  $l_1 = l_2 < l_3 = l_4$  (кривошипно-коромысловый механизм Галлова), механизм с соотношением длин звеньев  $l_1 = l_4 < l_2 = l_3$  (двухкривошипный механизм Галлова) и механизм квадрата с соотношением длин звеньев  $l_1 = l_2 = l_3 = l_4$ .

Механизм параллелограмма с наименьшим шатуном и основанием ( $l_2 = l_4 < l_1 = l_3$ ) имеет два особых положения и работает в двухкривошипном режиме по четырем вариантам. По парное равенство длин двух противолежащих звеньев механизма обеспечивает его работу в двухкривошипном режиме.

В заключении можем отметить, что шарнирно-четырёхзвенные механизмы с особыми положениями с их уникальными свойствами переходит из одного закона движения в другой, а также из одного класса в другой в процессе работы, получили широкое практическое применение в создании различных машин и механизмов. Более углубленное кинематическое и динамическое исследование механизмов с особыми положениями позволит еще больше расширить область их практического применения и создавать на их основе новые механизмы и машины с высокой надежностью и производительностью.

#### Литература:

1. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин. - М.: Наука, 1988. – 638 с.
2. Зиялиев, К. Ж. Кинематический и динамический анализ шарнирно-четырёхзвенных механизмов переменной структуры с созданием машин высокой мощности. - Бишкек: Илим, 2005.
3. Зиялиев, К. Ж., Чинбаев О. К., Дюшембаев Ж. Ж. Синтез новых схем механизмов на основе пространственной диаграммы шарнирно-четырёхзвенного механизма. //Вестник Иссык-Кульского университета. - 2023, - № 55. - С. 203-207.