

УДК: 621.01

Абдраимов Э. С., д.т.н., проф., Бакиров Б. Б., к.т.н.,  
Шадиев М. И., соискатель  
АН КР

### ЦИКЛОГРАММА ДВИЖЕНИЯ ЗВЕНЬЕВ УДАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ С.АБДРАИМОВА

*В статье рассматриваются вопросы построения циклограммы движения звеньев ударных механизмов переменной структуры С. Абдраимова. Отражены работы и характеристики ударной машины на основе схем МПС С. Абдраимова с наибольшим основанием, а также последовательность взаимодействия ее звеньев в зависимости от угла поворота кривошипа. Построены диаграммы функции зависимостей  $\varphi_3$  ( $\varphi_1$ ),  $\omega_3$  ( $\varphi_3$ ) и  $\varepsilon_3$  ( $\varphi_3$ ).*

**Ключевые слова:** механизм переменной структуры С.Абдраимова, кривошип, шатун, коромысл, основание, угол поворота.

Абдраимов Э. С., т.и.д., проф., Бакиров Б. Б., т.и.к.  
Шадиев М. И., изденүүчү  
КР УИАнын Машина таануу жана автоматика институту

### С. АБДРАИМОВДУН ӨЗГӨРҮЛМӨЛҮҮ СТРУКТУРАДАГЫ МЕХАНИЗМДЕРИНИН ЗВЕНОЛОРУНУН КЫЙМЫЛ ЦИКЛОГРАММАСЫ

*Макалада С.Абдраимовдун өзгөрүлмө структурадагы ургулама механизмдеринин звенелорунун кыймыл циклограммасын түзүү маселелери каралган.*

*С. Абдраимовдун негизи чоң болгон ургулоочу машиналарынын иштөөсү жана мүнөздөмөлөрү, ошондой эле анын звенелорунун өз ара аракеттенүү кезектүүлүгүнүн кривошиптин бурулуу бурчунан көз карандылыгы чагылдырылган.  $\varphi_3$  ( $\varphi_1$ ),  $\omega_3$  ( $\varphi_3$ ) и  $\varepsilon_3$  ( $\varphi_3$ ) функцияларынын көз карандылык диаграммалары түзүлгөн.*

**Өзөктүү сөздөр:** С. Абдраимовдун өзгөрүлмөлүү структурадагы механизми, кривошип, шатун, коромысла, негиз, бурулуу бурчу.

Abdraimov E.S. Phd in Technical Sciences, Professor  
Bakirov B.B Phd in Technical Sciences  
Shadiev M.I. Researcher, Academy of Science of the Kyrgyz Republic

### THE CYCLOGRAM OF THE MOVEMENT OF THE SHOCK MECHANISMS OF THE VARIABLE STRUCTURE OF S. ABDRAIMOVA

*The article discusses issues to construct a cyclicogram of the movement of the shock mechanisms of the variable structure of S. Abdraimov. The work and characteristics of the shock machine based on the S.Abdraimov MPS schemes with the greatest base and the sequence of interaction of its links depending on the angle of rotation of the crank are reflected. The dependency diagrams  $\varphi_3$  ( $\varphi_1$ ),  $\omega_3$  ( $\varphi_3$ ) and  $\varepsilon_3$  ( $\varphi_3$ ) were constructed.*

**Key words:** mechanism of variable structure of S.Abdraimov; crank, rod, rocker, base, angle of rotation.

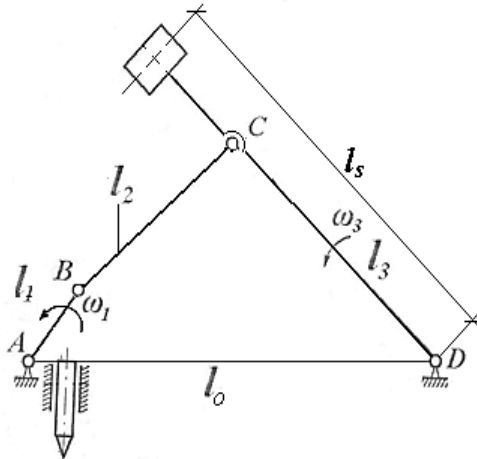
Обзор существующих ударных механизмов переменной структуры

С. Абдраимова приводит к выводу о том, что наибольшее распространение получили шарнирно-четырёхзвенные кривошипно-коромысловые рычажные ударные механизмы, а анализ их функций показывает, что чаще всего от них требуется обеспечение заданного хода рабочего органа за определенное время, устанавливаемое циклограммой работы машины.

От правильного синтеза циклограммы зависит успех конструирования ударной машины, что позволяет находить скрытые резервы неиспользованного времени и повышать производительность машин, надежности и долговечности элементов конструкции и систем в целом.

Ударный механизм переменной структуры С.Абдраимова представляет собой плоский шарнирно-четырёхзвенный механизм кривошипно-коромыслового типа, кинематическая схема которого показаны на рисунке 1[1,2].

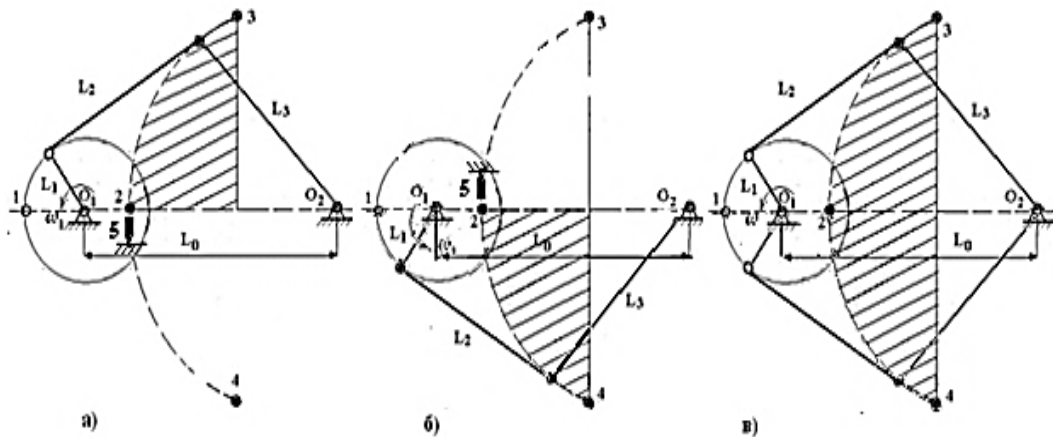
Для описания движения всех звеньев достаточно принять одну обобщенную координату угол поворота кривошипа  $\varphi_1$ .



$l_1$ - длина кривошипа;  $l_2$ - длина шатуна;  $l_3$ - длина коромысла;  $l_0$ - межопорное расстояние (основание);  $l_s$ - расстояние от оси вращения коромысла до оси удара

Рисунок 1 - Кинематическая схема кривошипно-коромыслового ударного механизма переменной структуры с наибольшим основанием

Применение кривошипно–коромысловых механизмов в качестве ударных возможно только при наличии особых положений звеньев механизма, когда все звенья располагаются на одной прямой (рисунок 1.2 а, б), что является одним из основных условий и особенностей схемы механизмов переменной структуры.



а, б) - в режиме неполного качания коромысла (ударный режим), в) - в режиме полного качания коромысла

Рисунок 2 - Зоны возможных движений исполнительного звена схемы ударного механизма переменной структуры с наибольшим основанием

В этом положении возникает неопределенность в движении коромысла. Если оно встречается в этом положении ограничитель 5, то коромысло отскакивает и повторяет предыдущий цикл движения (рисунок 1.2. линия 2-3 и 4-5). В случае отсутствия ограничителя коромысло по инерции будет продолжать движение в заданном направлении (рисунок 1.2- пунктирная линия 3-4). Если в качестве ограничителя использовать инструмент, то кривошипно-коромысловые механизмы с особым положением можно использовать в качестве ударных

Еще одна особенность этого механизма заключается в том, что максимальная скорость коромысла достигается именно в момент удара, при этом энергия, накопленная коромыслом при движении, имеет наибольшее значение. Эти особенности кривошипно-коромысловых схем механизмов переменной структуры дали возможность конструировать множество ударных машин и устройств с различными параметрами.

Для отражения работы и характеристику ударной машины на основе МПС С.Абдраимова и последовательность взаимодействия ее звеньев в зависимости от угла поворота кривошипа построим диаграммы зависимостей  $\varphi_3(\varphi_1)$ ,  $\omega_3(\varphi_3)$  и  $\varepsilon_3(\varphi_3)$ .

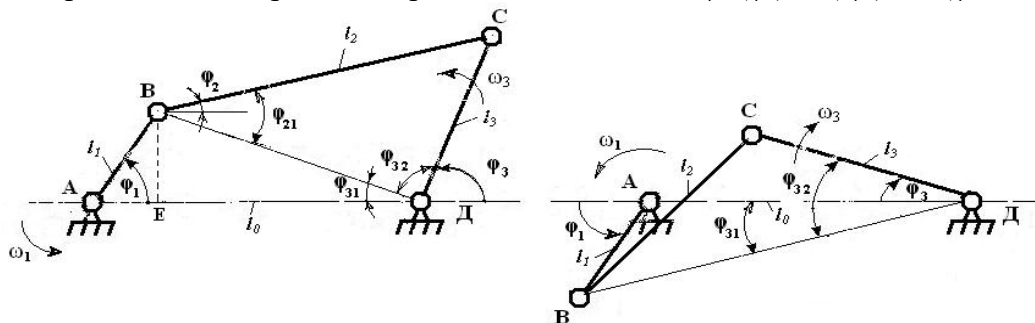


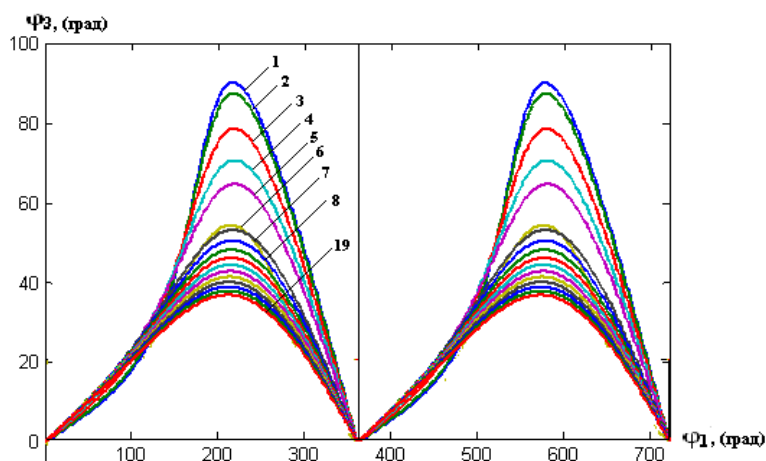
Рисунок 3 - Расчетная схема к выводу функции положений механизма

$$\text{Из рисунка 2 видно, что } \varphi_3 = \pi - \varphi_{31} - \varphi_{32} \quad (1)$$

Тогда функция положения  $\varphi_3(\varphi_1)$ , определится по формуле:

$$\varphi_3 = \pi - \arctg\left[\frac{l_1 \sin \varphi_1}{l_0 + l_1 \cos \varphi_1} + \right] - \arccos\left[\frac{l_2^3 - l_2^2 + l_2^1 + l_2^0 + 2l_1 l_0 \cos \varphi_1}{2l_3 \sqrt{l_1^2 + l_0^2 + 2l_1 l_0 \cos \varphi_1}}\right] \quad (2)$$

Согласно этой формулы построим диаграмму показывающий характер движения коромысла ударного механизма в зависимости от угла поворота кривошипа (рисунок 3) [3].



1 –  $a = 2$ ; 2 –  $a = 2,1$ ; 3 –  $a = 2,5$ ; 4 –  $a = 3$ ; 5 –  $a = 3,5$ ; 6 –  $a = 4$ ; 7 –  $a = 5$ ; 8 –  $a = 5,5$ ; 19 –  $a = 19$ .

Рисунок 3 – Графики изменения функции положения схемы  $l_1 < l_2 = l_3 < l_0$



Рисунок 4 -Циклограмма движения кривошипа

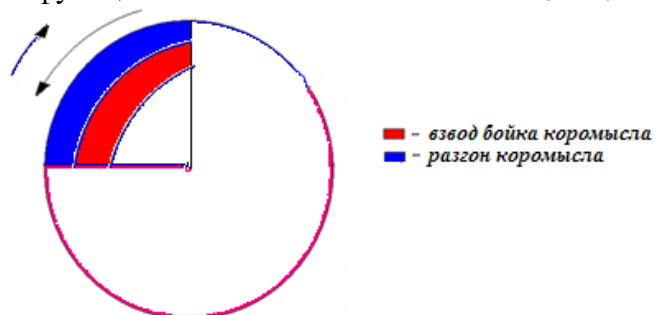


Рисунок 5 -Циклограмма движения коромысла

Составление циклограмм для машин с переменным циклом сводится к выявлению необходимой последовательности в движении рабочих органов.

За время рабочего цикла кривошип повернется на угол  $\varphi_1$  от  $0^0$  до  $360^0$  показанные на рисунке 4. В свою очередь коромысло совершает качательные движения (рисунок 5).

В ударных машинах с пневматической, гидравлической, электрической системами привода циклограммирование является задачей динамической, требующей дальнейшего изучения и разработки.

При этом для нормального протекания технологического процесса часто ограничивается величина максимальной скорости или максимального ускорения рабочего органа, установленного, как правило, на ведомом звене.

С целью дальнейшего динамического анализа построены графики зависимости угловой скорости и ускорения выходного звена от его угла поворота  $\omega_3(\varphi_3)$  и  $\varepsilon_3(\varphi_3)$  (рис.6, 7).

Они содержат данные необходимые для расчета сил и моментов инерции действующих на звено 3 в его различных положениях, а также данные, необходимые для определения направлений ускорения, а следовательно и сил инерции.

Теперь рассмотрим фазовую циклограмму движения коромысла [108,111], т.е.  $\omega_3(\varphi_3)$  и  $\varepsilon_3(\varphi_3)$  график которого представлен на рисунке 6, 7.

На рисунке 6, представлен график изменения угловой скорости выходного звена с соотношениями длины звеньев механизма:  $1:1,5:1,5:2$

Как видно из графика после удара, коромысло мгновенно отскакивая от ограничителя начинает двигаться с некоторой угловой скоростью в сторону крайнего положения коромысла. В отрезке линии графика от  $\varphi_3=0^0$  до  $\varphi_3=16^0$  наблюдается незначительное изменение величины значения  $\omega_3$ .

Далее, угловая скорость коромысла интенсивно возрастает до значения угла поворота коромысла  $\varphi_3=70,5^0$ , и достигает своего максимального значения  $\omega_3=1 \text{сек}^{-1}$ .

$\varphi_3$	$\omega_3$
0	0,1381
4,2277	0,1468
9,0189	0,1772
15,2453	0,2472
24,7356	0,4082
41,806	0,772
70,5288	1
89,394	0,1813
84,7356	-0,4082
68,3754	-0,6472
47,2321	-0,7486
24,0198	-0,7923
0	-0,8047

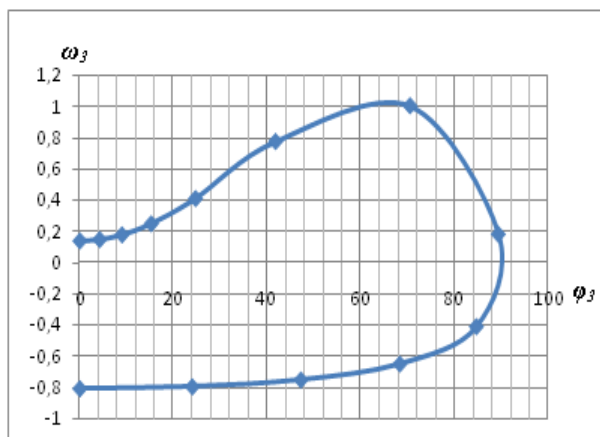


Рисунок 6 - Диаграмма  $\omega_3(\varphi_3)$  изменения кинематических параметров выходного звена механизма соотношения длины звеньев: 1:1,5:1,5:2.

В дальнейшем наступает его замедление до крайнего положения коромысла соответствующего углу поворота выходного звена  $\varphi_3=89,3^0$ .

В обратном ходу движения коромысла, наблюдается равномерное и плавное возрастание  $\omega_3$  до его особого положения. При этом предударная величина значений угловой скорости выходного звена составляет  $\omega_3=0,8 \text{сек}^{-1}$ .

На рисунке 7, приведена диаграмма уловой скорости коромысла при увеличении соотношении длины звеньев механизма: 1 : 3 : 3 : 5.

$\varphi_3$	$\omega_3$
0	0,206
6,2509	0,2131
12,9326	0,2349
20,4962	0,2716
29,3096	0,3154
39,1547	0,331
48,1897	0,25
52,9474	0,0531
51,0964	-0,1725
43,116	-0,3485
30,8291	-0,4607
15,9947	-0,5207
0	-0,5393

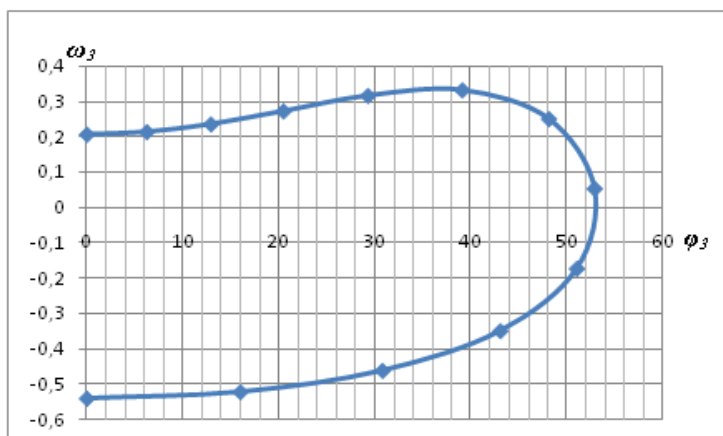


Рисунок 7- Диаграмма  $\omega_3(\varphi_3)$  изменения кинематических параметров выходного звена механизма в соотношении длин звеньев: 1:3:3:5.

На графике видны уменьшения угла размаха коромысла, где максимальное его значение соответствует углу поворота выходного звена  $\varphi_3=51^0$ . А и угловой скорости коромысла (рис.7.). Имеются отличия сравнения с графиком на

рисунке 6.

По графику видно, что в послеударный период угловая скорость коромысла начинает возрастать в зависимости от угла  $\varphi_3$  почти линейно до значения  $\varphi_3=40^\circ$ , и не замечаем его резких колебаний. Дальше от этой точки до крайнего положения коромысла соответствующей точки  $\varphi_3=52,9^\circ$  происходит резкий его спад.

На обратном ходу движения коромысла, наблюдаем равномерное изменение величины значения угловой скорости до положения удара механизма, где предударное значение передаточных отношений равно  $U_{31}=0,55$  и показывает, что этот показатель в 1,4 раза меньше чем предыдущий механизм.

Таким образом, анализ результатов показывает, что характер изменения угловой скорости выходного звена в зависимости от угла поворота коромысла  $\varphi_3$  для различных соотношений длины основания существенно отличаются друг от друга. Это объясняется тем, что увеличение длины основания механизма приводит к изменению кинематических свойств механизма, в.т.ч, к уменьшению передаточных отношений  $U_{31}$ ;  $U'_{31}$ , соответственно угловой скорости и ускорения механизма. График изменения  $\omega_3(\varphi_3)$  первого варианта схемы отличается большим и неравномерным колебанием угловой скорости в течении одного цикла. Две остальных соотношений длины звеньев изменяются более равномерно и плавно.

На рисунках 8, 9. представлены графики характеризующие закономерности изменения углового ускорения выходного звена и его угла поворота  $\varepsilon_3(\varphi_3)$ . Теперь, рассмотрим схему механизма в соотношении длины звеньев:  $1 : 1,5 : 1,5 : 2,1$

$\varphi_3$	$\varepsilon_3$
0	0
4,4345	0,0354
9,4476	0,0887
15,92	0,1954
25,63	0,44
42,5071	0,7806
69,2164	-0,6587
86,6222	-1,4982
82,489	-0,6921
66,8467	-0,2939
46,292	-0,1313
23,572	-0,0521
0	0

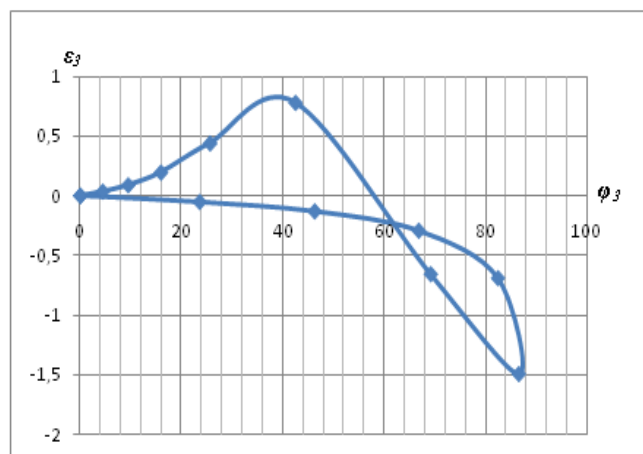


Рисунок- 8. Диаграмма  $\varepsilon_3(\varphi_3)$  изменения кинематических параметров выходного звена механизма соотношений длин звеньев:  $1:1,55:1,55:2,1$

Как видно из рисунка 8, в интервале угла поворота коромысла  $\varphi_3$  от  $0^\circ$  до  $42,5^\circ$  наблюдается интенсивное возрастание величины угловых ускорений, затем идет резкое его уменьшение до крайнего положения коромысла соответствующего угла поворота  $\varphi_3=86,6^\circ$ .

На рисунке 9, представлены графики изменения  $\varepsilon_3(\varphi_3)$  с соотношениями длины звеньев :  $1:3:3:5$ .

Как можно видеть из графика, линии описывающие колебания изменения углового ускорения выходного звена в зависимости от его угла поворота, заметно

отличается по сравнению с предыдущей.

Начиная с точки  $\varphi_3=0^0$  до  $\varphi_3=20,5^0$  по мере роста угла его поворота, наблюдается увеличение величины углового ускорения выходного звена, при этом значение составляет  $\varepsilon_3=0,08$  рад/сек<sup>2</sup>, а дальше на линии графика идет его спад до точки  $\varphi_3=42^0$ , затем от этой точки до крайнего положения звена.

Угловое ускорение начинает возрастать, достигая своего максимального значения  $\varepsilon_3=0,43$  рад/сек<sup>2</sup>, при  $\varphi_3=52,9^0$ .

Обнаруженная закономерность изменения углового ускорения от его угла поворота из графика показанного на рисунке 9, позволяет предположить возможность выбора приемлемых соотношений длины звеньев для ударных машин различного назначения.

$\varphi_3$	$\varepsilon_3$
0	0
6,2509	0,0273
12,9326	0,0563
20,4962	0,0821
29,3096	0,0747
39,1547	-0,0398
48,1897	-0,2795
52,9474	-0,4389
51,0964	-0,3966
43,116	-0,2729
30,8291	-0,16
15,9947	-0,0726
0	0

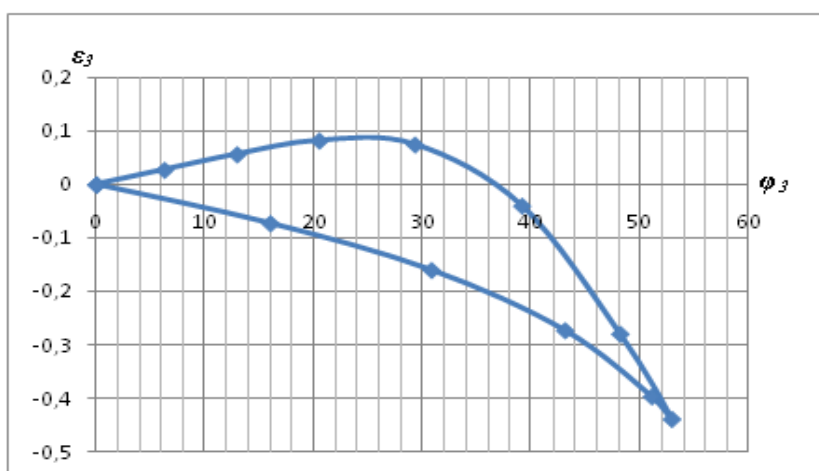


Рисунок 9 - Диаграмма  $\varepsilon_3(\varphi_3)$  изменения кинематических параметров выходного звена механизма соотношений длин звеньев: 1: 3 : 3: 5

Таким образом, построенные [циклограммы ударной машины](#) на основе МПС отражает все происходящие в [механизме процессы](#). Пользуясь циклограммой, легко определить положение, в котором находится каждый [рабочий орган](#) при заданном положении [ведущего звена циклового механизма](#).

### Литература:

1. Абдраимов, С., Джуматаев, М.С. Шарнирно-рычажные механизмы переменной структуры // – Бишкек: Илим, 1993. – 177 с.
2. Абдраимов, С., Зиялиев, К.Ж., Аканов, Д.К. Кинематический анализ особых положений шарнирно-четырёхзвенных ударных механизмов // Материалы международной конференции «Механизмы переменной структуры и виброударные машины». – Бишкек: Кыргызстан, Мектеп, 1999 г. – С. 68–73.
3. Бакиров, Б. Определение функции положения и кинематические передаточные функции различных схем для ударных механизмов переменной структуры с наибольшей длиной основания // Материалы IV международной научно- практической конференции студентов и молодых ученых «Государство и рынок: Современные тенденции (в свете Послания Президента Республики Казахстан Н.А.Назарбаева народу

Казахстана «Через кризис к обновлению и развитию». – Алматы, 2009. – С 410–413.

4. Бакиров, Б., Аликеев, С.С. Кинематический анализ схем ударных механизмов переменной структуры с наибольшим основанием // Материалы международной научно-технической конференции «Наука, образование, инновации: приоритетные направления развития», посвященной 55-летию юбилею Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова, Известия №16. – Бишкек, 2009 г. – С. 162-165.