

С. АБДРАИМОВДУН ИЙРИ МУУНАК-ЖЫЛГЫЧ СОККУ МЕХАНИЗМДЕРДИН ПАЙДА БОЛУУ ЖАНА ӨНҮГҮҮ ТАРЫХЫ

ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ КРИВОШИПНО-КОРОМЫСЛОВЫХ УДАРНЫХ МЕХАНИЗМОВ С. АБДРАИМОВА

HISTORY OF THE ORIGINATION AND DEVELOPMENT OF CRANK-ROCKER IMPACT MECHANISMS BY S. ABDRAIMOV

В. Э Еремыяни

V. E Eremyants

Бул макала автордун көрүнүктүү илимпоз, ийри муунак-жылгыч сокку механизмдерин түзүү жана изилдөө менен байланышкан багыттын негиздөөчүсү С.Абдраимовдун 80 жылдык мааракесине арналган конференциядагы баяндамасынын материалдарынын негизинде даярдалды. Анда негизден, ийри муунактан, шалкы жана термелгичти камтыган ийри муунак-жылгыч сокку механизмдерин түзүү назариятынын өнүгүүсү жана иш жүзүнөн келип чыгуу тарыхы берилген. Узундуктарынын ар кандай катышы бар мындай механизмдердин үч түрү бар: эң чоң шалкы, эң чоң негизи жана эң термелгич менен. Бул механизмдердин бардыгы автордук күбөлүктөр жана ойлоп табууга чет өлкөлүк патенттер менен корголгон. Азыркы учурда сокку энергиясы 4 тон 22700 Дж чейин болгон ар кандай максаттар үчүн ийри муунак-жылгыч сокку машиналардын бүткүл спектри иштелип чыкты жана иш жүзүндө колдонулду.

Данная статья написана по материалам доклада автора на конференции, посвященной 80-летию со дня рождения выдающегося ученого, основателя направления, связанного с созданием и исследованием кривошипно-коромысловых ударных механизмов С. Абдраимова. В ней излагается история зарождения и развития теории и практики создания кривошипно-коромысловых ударных механизмов, состоящих из основания, кривошипа, шатуна и коромысла. Существуют три типа таких механизмов с различными соотношениями длин звеньев: с наибольшим шатуном, наибольшим основанием и наибольшим коромыслом. Все эти механизмы защищены авторскими свидетельствами и зарубежными патентами на изобретение. К настоящему времени разработан и использован

на практике целый комплекс кривошипно-коромысловых ударных машин различного назначения с энергией удара от 4 до 22700 Дж.

This article is based on the author's report at a conference dedicated to the 80th anniversary of the birth of the outstanding scientist, founder of the direction associated with the creation and study of crank-rocker impact mechanisms S. Abdraimov. It describes the history of the origin and development of the theory and practice of creating crank-rocker impact mechanisms consisting of a base, a crank, a connecting rod and a rocker. There are three types of such mechanisms with different ratios of link lengths: with the largest connecting rod, the largest base and the largest rocker. All these mechanisms are protected by author's certificates and foreign patents for invention. By now, a whole complex of crank-rocker impact machines for various purposes with impact energy from 4 to 22,700 J has been developed and used in practice.

Түйүн сөздөр: ийри муунак-жылгыч сокку механизмдери; ийри муунак; шалкы; термелгич; үч түр механизмдер; титиреп-соккуч машиналар.

Ключевые слова: кривошипно-коромысловые ударные механизмы; кривошип; шатун; коромысло; три типа механизмов; виброударные машины.

Keywords: crank-rocker impact mechanisms; crank; connecting rod; rocker; three types of mechanisms; various vibroimpact machines.

В августе 1976 г. буровая установка «Луна-24» успешно осуществила бурение скважины диаметром 22 мм и глубиной 2,5 м на поверхности Луны с последующим отбором керна и его доставкой на Землю [1]. Эта установка была оснащена кривошипно-коромысловым ударным механизмом П.М. Алабужева, который в зависимости от усилия подачи автоматически переходил с вращательного режима бурения мягких пород к ударно-вращательному при встрече с породами большой крепости. Схема этого механизма показана на рисунке 1. Он состоял из кривошипа 1, шатуна 2, коромысла 3, бойка 4, хвостовика инструмента 5 и пружины 6.

При бурении мягких пород коромысло совершало качательные движения (рис. 1а), при этом боек оставался на месте, и бурение производилось вращательным способом. С увеличением сопротивления породы хвостовик инструмента перемещал боек, сжимая пружину. При этом коромысло ложилось на постель бойка (рис. 1б), и при дальнейшем вращении кривошипа производился взвод бойка

(рис. 1в). В определенном положении кривошипа происходило расклинивание коромысла (рис. 1г), и боек, разгоняясь под действием пружины, наносил удар по инструменту.

При изготовлении штатного варианта ударного механизма бурового автомата станции «Луна 24» обнаружилось, что кривошипно-коромысловый механизм не захватывает боек при увеличении сопротивления буримой породы. Эту проблему, видимо, интуитивно решил С. Абдраимов, предложив увеличить угол наклона постели бойка, на которую ложится коромысло. И действительно, при небольшом увеличении этого угла механизм заработал нормально.

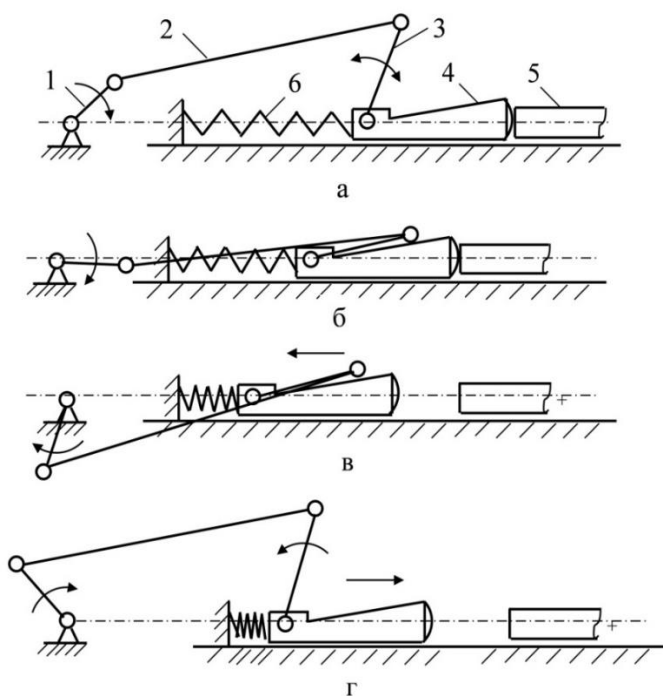
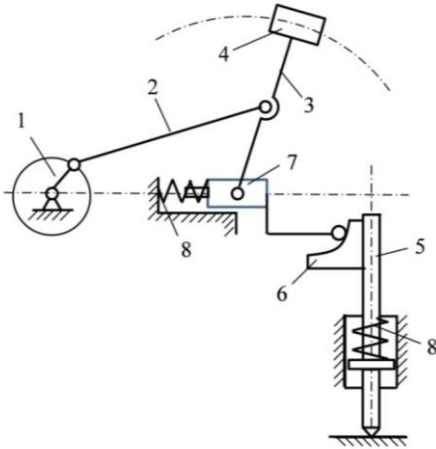


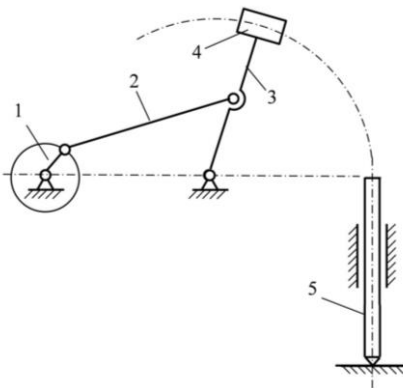
Рисунок 1 – Ударный механизм П.М. Алабужева

Это было связано с тем, что при малом угле наклона постели бойка коромысло ложилось на нее с большой скоростью и, как следствие, отскакивало от нее также с большой скоростью, препятствуя заклиниванию коромысла.



1 – кривошип, 2 – шатун, 3 – коромысло, 4 – боек, 5 – инструмент, 6 – кулачок, 7 – ползун, 8 – пружина.

Рисунок 2 – Механический молот, включающийся при увеличении сопротивления внедрению инструмента [2]



1 – кривошип, 2 – шатун, 3 – коромысло, 4 – боек, 5 – инструмент.

Рисунок 3 – Кривошипно-коромысловый молот [3]

следствии был разработан целый ряд кривошипно-коромысловых ударных механизмов.

Основываясь на этом наблюдении, С. Абдраимовым совместно с его руководителями О.Д. Алимовым, В.К. Манжосовым и учеником М.З. Алмамаевым в 1983 г. была предложена схема механического молота, показанная на рисунке 2 [2]. Однако она не была реализована на практике, поскольку теоретически не обеспечивала стабильный режим работы ударного механизма. Его включение производилось при различных углах поворота коромысла, зависящих от сопротивления породы. При этом скорость соударения коромысла с инструментом была непостоянной, что приводило к неустойчивой работе механизма.

Позже С. Абдраимовым и М.С. Джуматаевым была предложена более простая схема кривошипно-коромыслового ударного механизма [3] (рис. 3), на основе которой впоследствии

Их отличие от предыдущего механизма заключалось в том, что удар коромыслом по инструменту происходил в момент, когда все кинематические пары механизма располагались на одной линии. Это положение звеньев принято называть особым положением. В особом положении скорость коромысла наибольшая.

Условиям, при которых возникают особые положения звеньев, соответствуют три варианта кривошипно-коромысловых ударных механизмов с различными соотношениями длин звеньев: когда наибольшей длиной обладает шатун (рис. 4а), коромысло (рис. 4б) или основание (рис. 4в). Эти схемы защищены патентом СССР на изобретения [3] и Евразийским патентом [4].

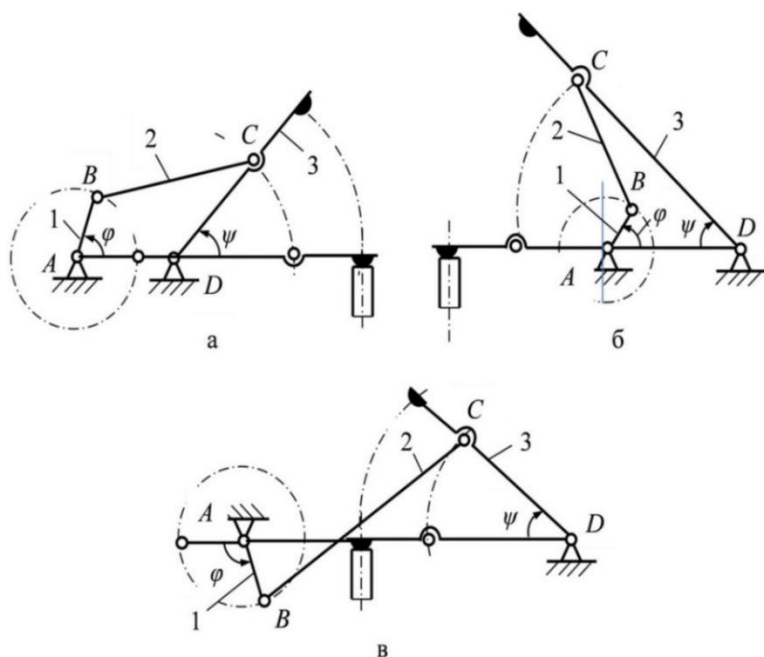


Рисунок 4 – Схемы ударных механизмов с наибольшим шатуном (а), наибольшим коромыслом (б) и наибольшим основанием (в)

Принимая за начало отсчета углов φ и ψ особое положение звеньев, когда все шарниры лежат на одной прямой (рис. 4), и используя описанную выше методику, получим функции положения звена 3 в виде [5, 6]:

для схемы 1 (рис. 4а):

$$\psi = \pi - \arctg(A_1) - \arccos(B_1); \quad (7)$$

для схемы 2 (рис. 4б):

$$\psi = \arctg(A_1) - \arccos(B_1); \quad (8)$$

для схемы 3 (рис. 4в):

$$\psi = -\arctg(A_2) + \arccos(B_2), \quad (9)$$

где
$$A_1 = \frac{\sin \varphi}{\lambda_0 - \cos \varphi}, \quad B_1 = \frac{\lambda_3^2 - \lambda_2^2 + d_1}{2\lambda_2 \sqrt{d_1}}, \quad d_1 = 1 + \lambda_0^2 - 2\lambda_0 \cos \varphi,$$

$$A_2 = \frac{\sin \varphi}{\lambda_0 + \cos \varphi}, \quad B_2 = \frac{\lambda_3^2 - \lambda_2^2 + d_2}{2\lambda_3 \sqrt{d_2}}, \quad d_2 = 1 + \lambda_0^2 + 2\lambda_0 \cos \varphi.$$

Передаточные функции первого порядка от кривошипа к коромыслу u_{31} , определяемые как $d\psi/d\varphi$, имеют следующий вид [6]:
для схем 1 и 2

$$u_{31} = \frac{1}{d_1} \left[1 - \lambda_0 + 2\lambda_0 \sin^2(\varphi/2) + \frac{[2\lambda_0 \sin^2(\varphi/2) + \lambda_2(\lambda_0 - 1)]\cos(\varphi/2)}{\sqrt{(\lambda_2\lambda_3/\lambda_0) - \sin^2(\varphi/2)}} \right]. \quad (10)$$

для схемы 3

$$u_{31} = -\frac{1}{d_2} \left[1 + \lambda_0 - 2\lambda_0 \sin^2(\varphi/2) + \frac{[2\lambda_0 \sin^2(\varphi/2) - \lambda_2(\lambda_0 + 1)]\cos(\varphi/2)}{\sqrt{(\lambda_2\lambda_3/\lambda_0) - \sin^2(\varphi/2)}} \right]. \quad (11)$$

При использовании этих формул следует иметь в виду, что при работе ударного механизма в каждом цикле его работы аргумент φ изменяется от нуля до 2π . В качестве примера на рисунке 5 представлены графики передаточных функций рассматриваемых механизмов, соответствующие угловым скоростям коромысла.

На рисунке 5 видно, что удар коромыслом по ограничителю происходит в момент времени, когда его скорость, а следовательно,

и кинетическая энергия максимальные. В работе [6] отмечается, что «...это обстоятельство, а также возможность отскока коромысла после удара без нарушения кинематических связей звеньев и послужили основанием для создания таких схем кривошипно-коромысловых ударных механизмов».

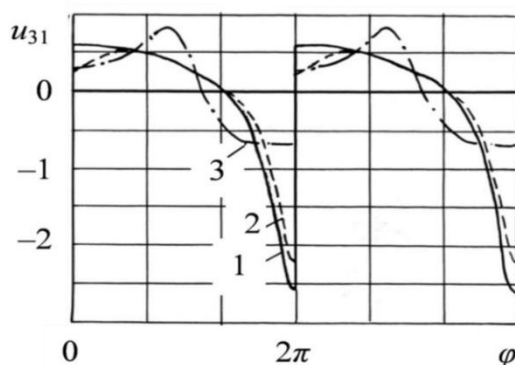


Рисунок 5 – Передаточные функции кривошипно-коромысловых ударных механизмов первого порядка при наличии ограничителя хода коромысла: 1 – с наибольшим шатуном, 2 – с наибольшим коромыслом, 3 – с наибольшим основанием [6]: **1** – $\lambda_2 = 4, \lambda_3 = 3, \lambda_0 = 2$; **2** – $\lambda_2 = 3, \lambda_3 = 4, \lambda_0 = 2$; **3** – $\lambda_2 = 3, \lambda_3 = 2, \lambda_0 = 4$

На рисунке 5 видно также, что графики передаточных функций механизмов с наибольшим шатуном и наибольшим коромыслом, в то время как график передаточной функция механизма с наибольшим основанием существенно другой. Отношение $R_k = -u_{31}(0)/u_{31}(2\pi)$ в работе [7] было названо кинематическим коэффициентом восстановления скорости коромысла. В работе [8] показано, что при равенстве кинематического коэффициента восстановления скорости коромысла и физического (Ньютоновского) коэффициента восстановления кривошип ударного механизма, а следовательно, и его привод не чувствует удара.

К настоящему времени наибольшее применение получили кривошипно-коромысловые ударные механизмы с наибольшей длиной шатуна. Это иллюстрируется таблицей 1, в которой приведены параметры и области применения созданных и использованных на

практике кривошипно-коромысловых ударных механизмов с наибольшим шатуном.

Таблица 1 – Реализация схем с наибольшим шатуном на практике

Модель	A, Дж	f, Гц	m, кг	Привод	N, кВт	Примечание
ПП-7	1	25	1,5	ручной	–	Перфоратор
ПРЭ-9	4	33	5	электр.	0,53	Перфоратор
МРЭ-6	30	23	14	электр.	1,1 – 1,5	Ручной молоток
МОМ-10	55	16	16	электр.	2,0	Отбойный молоток с гибким валом
МРГ-3	55	25	16	гидравл.	4,15	Отбойный молоток
МП-2	55	25	25	гидравл.	4,5	Перфоратор
ВК-1	55	23	40	гидравл.	–	Виброкаток
МТ-1	до 100	6–10	80	гидравл.	–	Трамбовка
МО-10	до 100	6–10	60	электр.	7,5	Очистка золошлакопроводов
МБ-10	до 100	8	50	электр.	1,5	Очистка угольных бункеров
МО-15	до 150	24	80	электр.	3,6	Отбивка отливок от стояков
МО-100	до 1200	5–8	250	гидравл.	7–8	Разрушение твердых покрытий и бетонных сооружений

Это ручные перфораторы с энергией удара от 1 до 4 Дж с ручным и электрическим приводом, ручные молотки с энергией удара 30 Дж и более мощные отбойные молотки и перфораторы с энергией удара от 30 до 55 Дж с электрическим и гидравлическим приводом, трамбовки и виброударные машины для очистки внутренних поверхностей золошлакопроводов и угольных бункеров от различных отложений с энергией удара до 100–150 Дж (рис. 6) и мощные отбойные молоты с энергией удара до 1200 Дж для разрушения твердых покрытий, бетонных блоков и горных пород, навешиваемые на манипулятор экскаватора вместо ковша.

Следует отметить, что для кривошипно-коромысловых ударных механизмов Ю.А. Фокиным была разработана конструкция бойка-коромысла специальной формы, показанная на рисунке 7. Впоследствии этот боек получил название «бойк Фокина».



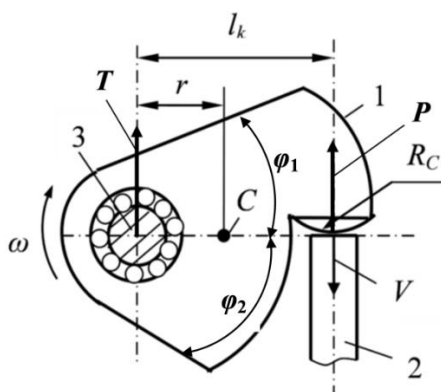
а



б

Рисунок 6 – Машины для очистки золошлакопроводов Бишкекской ТЭЦ

Его особенностью является то, что при ударе им по инструменту ударная реакция не передается на ось вращения бойка.



1 – боек-коромысло, 2 – инструмент, 3 – ось вращения бойка.

Рисунок 7 – Боек-коромысло Фокина

Из курса теоретической механики известно, что реакция, действующая на ось вращения тела, к которому приложен удар, определяется по формуле:

$$T = -(1 - mrl_k/J)P, \quad (12)$$

где T – реакция, действующая в шарнире бойка со стойкой, P – усилие в контакте бойка с инструментом, J – момент инерции бойка относительно оси вращения, m – масса бойка, l_k – расстояние от оси вращения бойка до точки соударения бойка с инструментом (длина коромысла), r – расстояние от оси вращения коромысла до центра его масс.

Из соотношения (1) следует, что для того, чтобы реакция в шарнире бойка со стойкой при ударе бойком по инструменту равнялась нулю, необходимо, чтобы центр тяжести бойка-коромысла лежал на линии, соединяющей точку удара с осью вращения бойка на расстоянии от оси вращения равном:

$$r = J/ml_k. \quad (13)$$

Такая форма бойка позволяет изменением углов φ_1 и φ_2 обеспечивать требуемое условие положения центра тяжести.

По схеме с наибольшим коромыслом Иссык-Кульской школой ТММ, возглавляемой К.Ж. Зиялиевым, был создан экспериментальный образец молота ГУИМ-1 с энергией удара 22 кДж. Его испытание показало, что он может эффективно использоваться как самоходная машина для уплотнения грунтов и железнодорожных насыпей.

Все эти механизмы прошли проверку при промышленной эксплуатации на предприятиях республики и доказали свою эффективность.

Как уже отмечалось в начале этого раздела, направление, связанное с зарождением и развитием кривошипно-коромысловых ударных механизмов, возникло при разработке бурильных машин для исследования свойств грунтов на поверхности космических тел.

В работе [8] показано, что кривошипно-коромысловые механизмы С. Абдраимова могут эффективно использоваться в буровых автоматах космических станций, поскольку после соответствующего обучения они позволяют по коэффициенту неравномерности хода

кривошипа определять, каким земным аналогам соответствует буримая порода.

По результатам создания и исследования кривошипно-коромысловых ударных механизмов С. Абдраимовым и его учениками опубликовано несколько монографий [9–12], десятки статей. Под его руководством по этой теме подготовлено и защищено несколько докторских и кандидатских диссертаций. Поэтому кривошипно-коромысловые ударные механизмы можно по праву называть ударными механизмами Самудина Абдраимова.

Литература

1. Копылов В.Е. Бурение?...Интересно! – М.: Недра, 1981. – 160 с.
2. АС СССР № 581252. Механический молот. Приоритет от 25.02.83 г., авторы: О.Д. Алимов, В.К. Манжосов, С.Абдраимов, М.З. Алмаматов.
3. АС СССР № 1833462. Ударный механизм. Приоритет от 26.03.91 г., авторы: С.Абдраимов, М.С. Джуматаев.
4. Евразийский патент № 000370. Ударные механизмы. Приоритет от 01.04. 98. Патентодержатели: Абдраимов С., Абдраимов Э.С.
5. Еремьянц В.Э. К определению передаточных функций кривошипно-коромысловых ударных механизмов. // Сборник научных трудов Института машиноведения НАН КР. – Вып.2. – Бишкек: Илим, 2000 г. – С.79 – 84.
6. Еремьянц В.Э. Динамика машин. Учебник. Бишкек: Изд. КРСУ, 2019. – 332 с.
7. Фокин Ю.А. Поверхности передаточных отношений и коэффициентов кинематического восстановления скорости. Материалы Международной конференции «Механизмы переменной структуры и виброударные машины». – Бишкек: «Кыргызстан», «Мектеп», 1999 г. – С. 135–144.
8. Еремьянц В.Э. Перспективы использования кривошипно-коромысловых ударных механизмов С. Абдраимова в буровых автоматах-информаторах для космических исследований. // Вестник КРСУ. – 2023. –Т.23. № 12. – С. 79–87.

9. Абдраимов С., Невенчанная Т.О. Построение механизмов переменной структуры и исследование их динамики. Отв. ред. О.Д. Алимов: АН Кирг. ССР, НИЦ «Импульс». – Фрунзе: Илим, 1990. – 175 с.
10. Абдраимов С., Джуматаев М.С. Шарнирно-рычажные механизмы переменной структуры. – Бишкек: Илим, 1993. – 178 с.
11. Абдраимов С., Турсунов К.Д. Механизмы переменной структуры и переменного класса в кузнечнопрессовых машинах. – Бишкек: Илим, 1993. – 163 с.
12. Абидов А.О. Динамика отбойного молотка с ударным механизмом переменной структуры – Бишкек: Илим, 2001. – 116 с.
13. Абдраимов Э.С. Структурный синтез плоских механизмов переменной структуры. – Бишкек: Илим, 2001. – 99 с.
14. Зиялиев К.Ж. Кинематический и динамический анализ шарнирно-четырёхзвенных механизмов переменной структуры с созданием машин высокой мощности. – Бишкек: Илим. 2005. – 195 с.