

## **ЩЕКОВЫЕ ДРОБИЛКИ С КРИВОЛИНЕЙНЫМ ПРОДОЛЬНОМ ПРОФИЛЕМ ЩЕК: КЛАССИФИКАЦИЯ, ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

*Копосов П.В., Жуков И.А., Голиков Н.С.*

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** горная порода, дробление, щековая дробилка, двухщековая дробильная машина, непрямолинейная форма щеки.

**Аннотация.** Статья посвящена анализу патентов на щековые дробилки криволинейным продольным профилем одной или двух щек. Представлено развитие существующей классификации щековых дробилок. Анализ различных типов дробильных машин с оригинальными формами щек приведен с указанием их основных характеристик и преимуществ в сравнении с традиционными моделями. Обосновывается предполагаемые области применения таких машин в различных отраслях промышленности и строительства. В заключении дается прогноз о перспективах использования дробилок с непрямолинейной формой щек в качестве так называемых машин-грануляторов. Ставятся новые научные задачи исследования и проектирования дробильных машин с двумя подвижными непрямолинейными щеками. Материалы статьи представляют интерес для специалистов в области машиностроения, а также горнодобывающей, металлургической, химической и строительной промышленности.

## **JAW CRUSHERS WITH CURVED LONGITUDINAL PROFILE OF CHEEKS: CLASSIFICATION, DEVELOPMENT TRENDS AND APPLICATION PROSPECTS**

*Koposov P.V., Zhukov I.A., Golikov N.S.*

*Saint-Petersburg Mining University of Empress Catherine II, Saint-Petersburg*

**Keywords:** rock, crushing, jaw crusher, double-jaw crushing machine, non-linear shape of the cheek.

**Abstract.** The article is devoted to the analysis of patents for jaw crushers with a curved longitudinal profile of one or two cheeks. The development of the existing classification of jaw crushers is presented. The analysis of various types of crushing machines with original cheek shapes is given with an indication of their main characteristics and advantages in comparison with traditional models. The proposed applications of such machines in various industries and construction are substantiated. In conclusion, a forecast is given on the prospects of using crushers with an indirect cheek shape as so-called granulator machines. New scientific tasks are being set for the research and design of crushing machines with two movable non-linear cheeks. The materials of the article are of interest to specialists in the field of mechanical engineering, as well as mining, metallurgical, chemical and construction industries.

### **Введение**

В настоящее время естественным образом наблюдается значительный рост добычи и переработки минерального сырья [1, 2], что напрямую взаимосвязано с развитием применяемых машин и комплексов на основе научно-технических достижений. Процесс дробления является неотъемлемой составляющей производства строительных материалов, топлива, металлургического сырья и т.д. [3]. Дробление материалов путем уменьшения размера упруго-хрупкого тела от исходной крупности до требуемой под действием внешних сил является самым энергоемким процессом в горном деле [4].

Для дробления материалов крупных и средних размеров, как правило, применяют щековые дробилки [5-7], в которых разрушение происходит раздавливанием, раскалыванием и частичным истиранием. Указанные воздействия осуществляются при периодическом сближении двух щек (рис. 1). Кинематические параметры движения щек определяются в зависимости от схемы рабочего механизма. К настоящему времени накоплено достаточно большое количество самых разнообразных исполнений кинематических схем дробилок [8-11]. Переработка материалов, обладающих различными физико-механическими свойствами, а также разные требования к получаемой продукции обуславливают разнообразие дробильных машин, отличающихся по типам и размерам.

Рациональный выбор конструкции дробилки обеспечивает получение продукции высокого качества при минимальных затратах энергии и денежных средств.

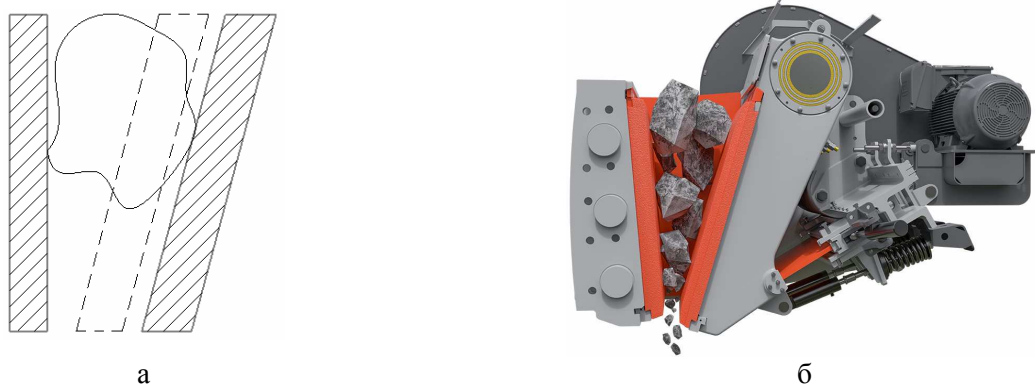


Рис. 1. Щековая дробилка: а – принципиальная схема; б – типовая конструкция

Исходной информацией для поиска новых технических решений машин, обладающих повышенной производительностью и надежностью, является системное представление имеющихся конструкций в привязке к особенностям условий их эксплуатации.

В широко известной монографии Б.В. Клушанцева [5] приведено разделение щековых дробильных машин на две группы в зависимости от характера движения подвижной щеки. Первая группа – это дробилки с простым движением щеки, при котором точки щеки описывают траекторию, представляющую собой прямую линию или дугу окружности. Вторая группа – это дробилки со сложным движением щеки, при котором траектории точек щеки представляют собой замкнутые кривые, подобные эллипсу.

При этом на страницах 70-72 названной монографии [5] приведен еще один признак, который по мнению авторов настоящей статьи вполне может стать одним из основополагающих для расширения существующей классификации щековых дробилок, – продольный профиль рабочей поверхности щеки (рис. 2).

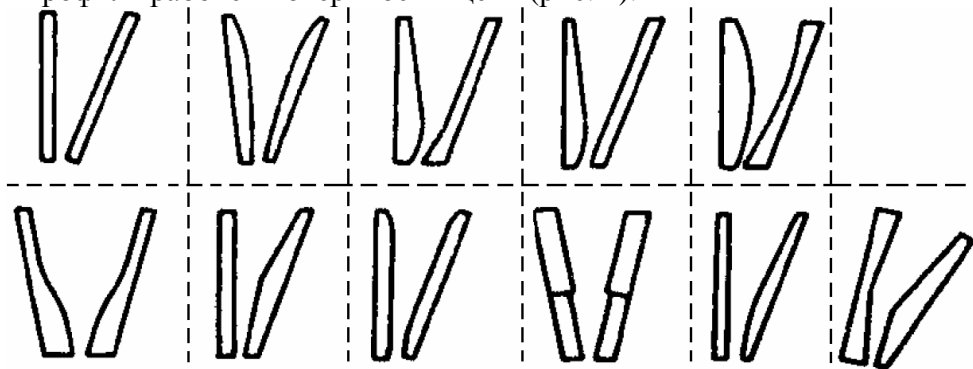


Рис. 2. Различные варианты продольных профилей щек по [5]

Форма щеки оказывает непосредственное влияние на показатели работы дробилки – производительность, расход энергии, форму и состав фракции дробления [12-15]. От ее параметров зависят размеры камеры дробления, угол захвата, величина нагрузки и другие условия разрушения. Очевидно, что наиболее распространенным является прямолинейный профиль щек. При этом двояковыпуклую форму применяют для мелкого дробления. А криволинейная форма нижней части исключает забивание камеры, обеспечивает получение более однородного материала и способствует увеличению срока службы щек. В свою очередь, выпукло-вогнутый профиль способствует получению более узкого класса крупности и однородной формы гранул готовой продукции, что определяет применение таких щек в машинах-грануляторах.

Обратимся к результатам патентного поиска дробилок, включающим в том числе конструкции с непрямолинейной формой щек, определяющим тенденцию развития данного класса машин.

## Анализ технических решений щековых дробильных машин

Стоит отметить, что поиск и обоснование рациональных конструкций дробильных машин, соответствующих современным тенденциям повышения производительности работ по измельчению минерального сырья, продолжается непрерывно. В таблице 1 собраны результаты патентного поиска щековых дробилок, конструкции которых были изобретены за предшествующие 30 лет.

Табл. 1. Результаты патентного поиска

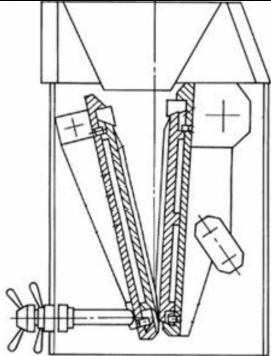
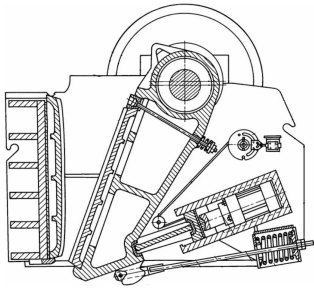
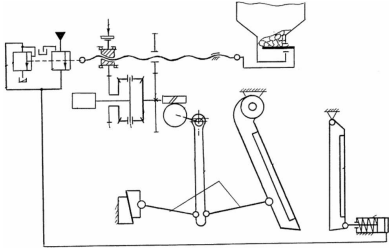
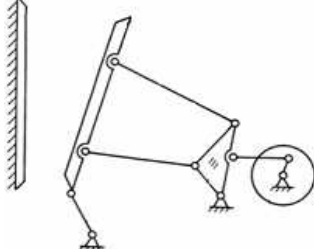
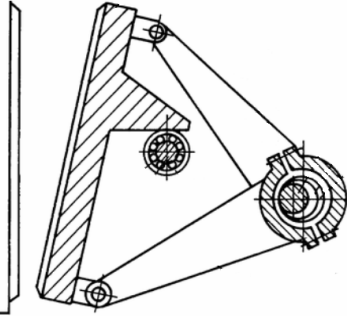
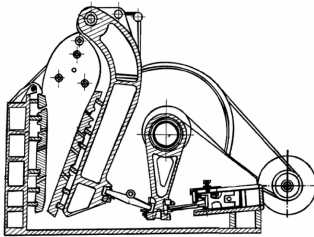
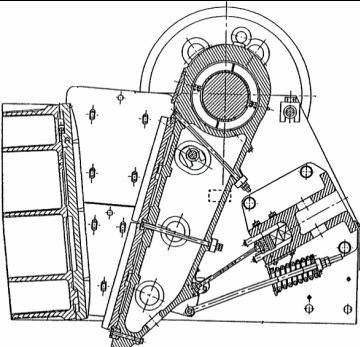
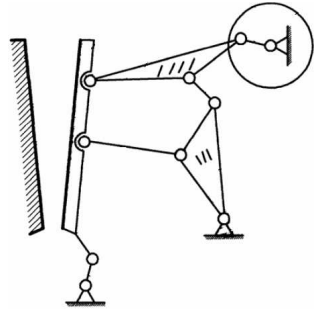
Номер патента. Название / Авторы. – Даты приоритета и опубликования	Схема	Номер патента. Название / Авторы. – Даты приоритета и опубликования	Схема
	№1		№2
№2040335. Щековая дробилка с регулируемыми параметрами дробления / Федоров Г.К., Белов О.В., Бакуров В.А. – 01.07.1993; 25.07.1995		№2044561. Щековая дробилка/ Дигтяренко В.А., Аникеев А.А. – 30.09.1991; 27.09.1995	
	№3		№4
№2112596. Адаптивная щековая дробилка / Дарда И.В., Дровников Д.А., Ткаченко В.А. – 12.03.1996; 10.06.1998		№2142850. Щековая дробилка / Дворников Л.Т., Макаров А.В. – 01.06.1998; 20.12.1999	
	№5		№6
№2144426. Щековая дробилка с регулируемыми параметрами дробления / Буженко В.Е., Перевозкин А.Ю., Шакирьянов М.Р. – 08.06.1998; 20.01.2000		№2160162. Щековая дробилка / Злобин М.Н. – 25.11.1998; 10.12.2000	
	№7		№8
№2212938. Щековая дробилка / Лехтонен Х., Кескинен Я. – 10.08.2002; 27.09.2003		№2232637. Щековая дробилка / Дворников Л.Т., Макаров А.В. – 05.02.2003; 20.07.2004	

Табл. 1. Продолжение

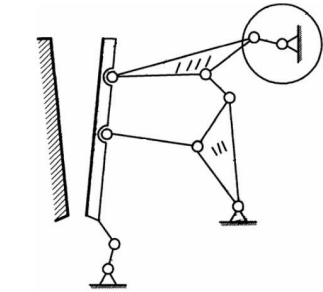
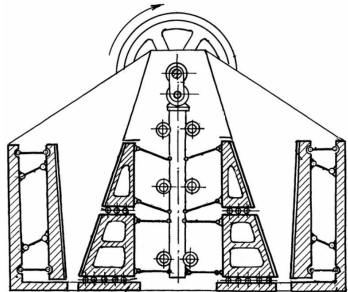
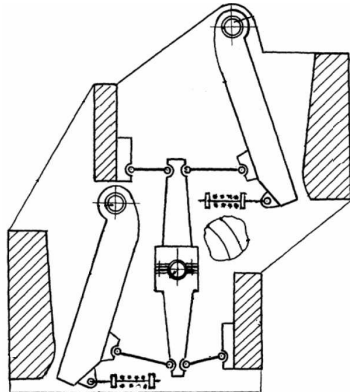
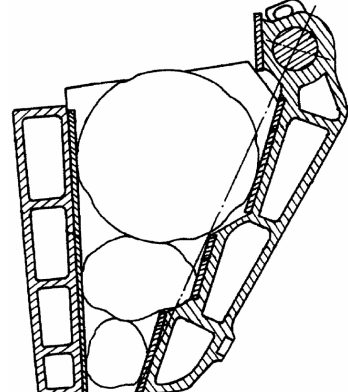
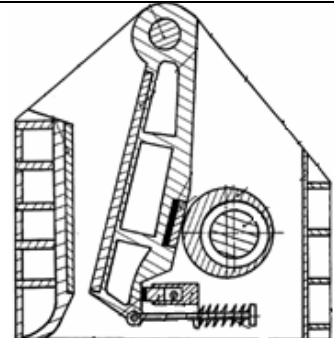
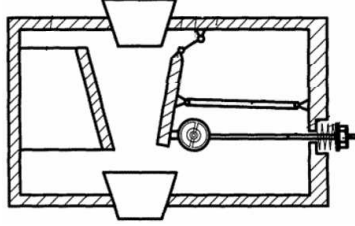
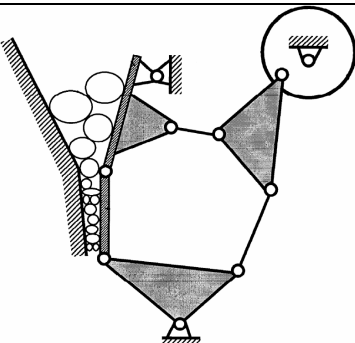
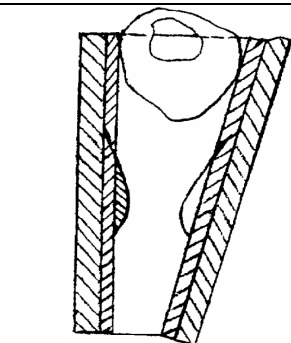
Номер патента. Название / Авторы. – Даты приоритета и опубликования	Схема	Номер патента. Название / Авторы. – Даты приоритета и опубликования	Схема
№9	№10	№2246350. Дробилка щековая непрерывного действия / Супрун П.П., Гамоля Ю.А., Соколов В.Б., Красовский П.С., Кондратьев П.С. – 15.07.2003; 20.02.2005	№11
<p>№2235594. Щековая дробилка / Дворников Л.Т., Макаров А.В. – 05.02.2003; 10.09.2004</p>		<p>№2272671. Щековая дробилка / Лешинский А.В., Секисов Г.В, Шевкун Е.Б, Эунап Р.А. – 27.10.2005; 27.03.2006</p>	
<p>№2246351. Щековая дробилка непрерывного действия с простым качением щеки / Супрун П.П., Гамоля Ю.А., Соколов В.Б., Красовский П.С., Кондратьев П.С. – 15.07.2003; 20.02.2005</p>		№12	
№13	№14	№2289478. Щековая дробилка / Балашов В.Б., Исаков В.С., Дровников А. Н., Чернобровкин Г.Я., Богунов Е.В. – 25.04.2005; 20.12.2006	№15
<p>№2332260. Двухщековая дробильная машина / Дворников Л.Т., Стариков С.П. – 09.01.2007; 27.08.2008</p>		<p>№2318599. Щековая дробилка / Никитин А.Г., Бойко Д.Ю., Векессер А.Ю. 09.10.2006; 10.03.2008</p>	
<p>№2338592. Щековая дробилка / Тарасов Ю.Д. – 19.04.2007; 20.11.2008</p>		№16	

Табл. 1. Продолжение

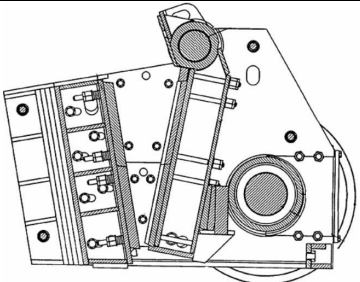
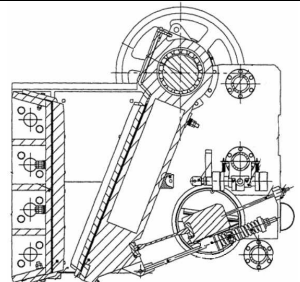
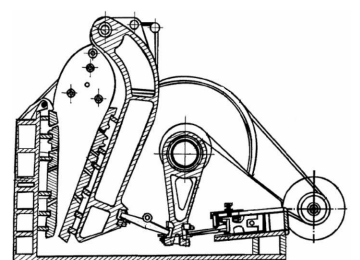
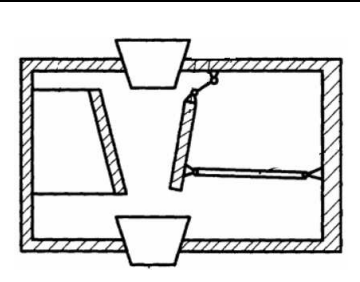
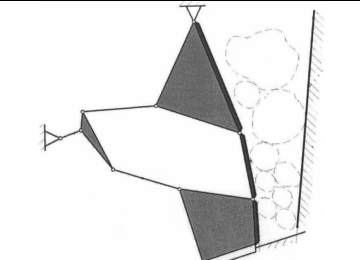
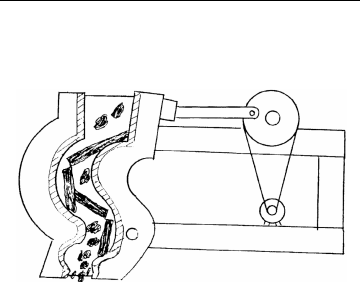
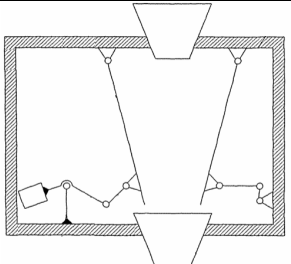
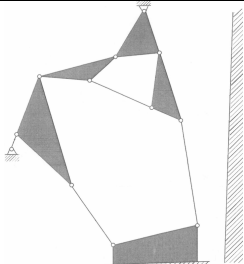
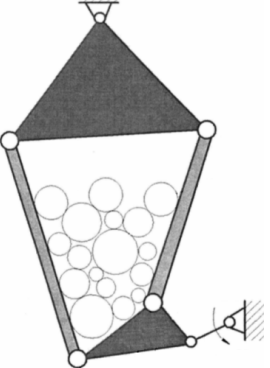
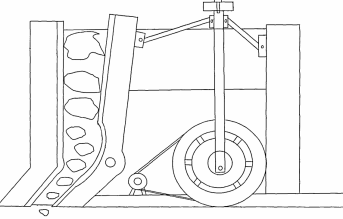
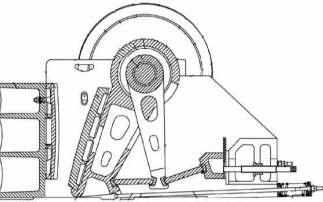
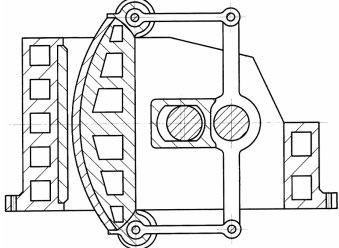
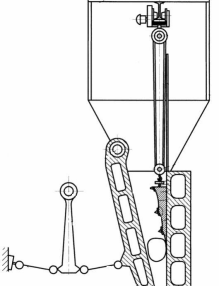
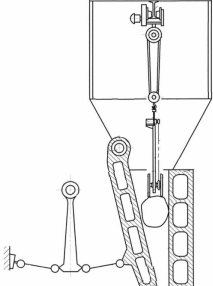
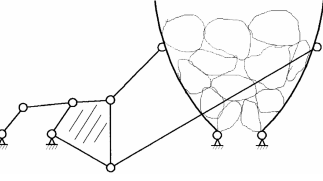
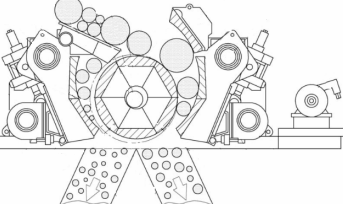
Номер патента. Название / Авторы. – Даты приоритета и опубликования	Схема	Номер патента. Название / Авторы. – Даты приоритета и опубликования	Схема
<p>№2331479. Щековая дробилка / Чертанов О.В. – 25.10.2006; 20.08.2008</p>	№17 	<p>№2345837. Щековая дробилка / Павлов Н.А., Ковтушенко В.А., Камнев Д.Г. – 27.02.2008; 10.02.2009</p>	№18 
	<p>№2365411. Щековая дробилка / Матвеев А.И., Осипов Д.А., Винокуров В.Р. – 17.12.2007; 27.08.2009</p>		№19 
<p>№2380157. Щековая дробилка / Никитин А.Г., Бойко Д.Ю., Векессер А.Ю., Старовацкая С.Н., Сахаров Д.Ф. – 07.11.2008; 27.01.2010</p>		№21 	<p>№2423179. Двухщелевая дробильная машина / Дворников Л.Т., Макаров А.В., Гаряшин В.В., Чашников Д.О. – 02.03.2010; 10.07.2011</p>
	<p>№2478433. Трёхщелевая дробильная машина / Дворников Л.Т., Гаряшин В.В. – 23.09.2011; 10.04.2013</p>	№23 	
<p>№2455071. Щековая дробилка для дробления плитняка (пластушки) / Петухов А.Н., Желобков П.С., Ионов К.А., Репин К.В., Темеров А.А. 27.04.2011; 10.07.2012</p>		№25 	<p>№2463110. Щековая дробилка / Тарасов Ю.Д., Тимофеев И.П., Голиков Н.С. – 22.04.2011; 10.10.2012</p>

Табл. 1. Продолжение

Номер патента. Название / Авторы. – Даты приоритета и опубликования.	Схема	Номер патента. Название / Авторы. – Даты приоритета и опубликования.	Схема
№2508941. Щековая дробилка / Никитин А.Г., Витушкин А.В., Тагильцев-Галета К.В. – 25.10.2012; 10.03.2014	№27 	№2529918. Трехщечковая дробильная машина / Дворников Л.Т., Чашников Д.О. – 18.06.2013; 10.10.2014	№28 
	№29		№30
№2538108. Щековая дробильная машина со взаимоподвижными щеками / Дворников Л.Т., Чашников Д.О., Юдин Н.Д. – 18.06.2013; 10.01.2015		№2539505. Щековая дробилка ударно- раздавливающего действия с высокой степенью дробления / Петухов А.Н., Желобков П.С., Пименова Ю.А. – 27.10.2014; 20.01.2015	
	№31		№32
№2578406. Щековая дробилка с двойным кривошипно- коромысловым механизмом / ЧЖУ Синлян 20.05.2015; 27.03.2016.		№2601815. Щековая дробилка / Домбровский В.В., Рязанцев С.А. – 29.06.2015; 10.11.2016	
	№33		№34
№2625181. Щековые дробилки / Коноплев В.И., Воробьев А.В., Бундин А.А., Бровкин И.Д. – 21.11.2016; 12.07.2017		№2704267. Щековая дробилка / Коноплев В.И., Воробьев А.В., Аленичев Г.А. – 23.04.2019; 25.10.2019	
	№35		№36
№2752910. Дробильная машина с криволинейными щеками / Дворников Л.Т., Макаров А.В., Чернов П.Е. – 03.11.2020; 11.08.2021		№2774679. Двухкамерная щековая дробилка / Белоцерковский К.Е., Груздев П.А. – 09.07.2021; 21.06.2022	

Сравнительный анализ известных технических решений щековых дробильных машин, показанных в таблице 1, позволил авторам сформулировать новые признаки классификации дробилок и соответственно расширить саму классификацию.

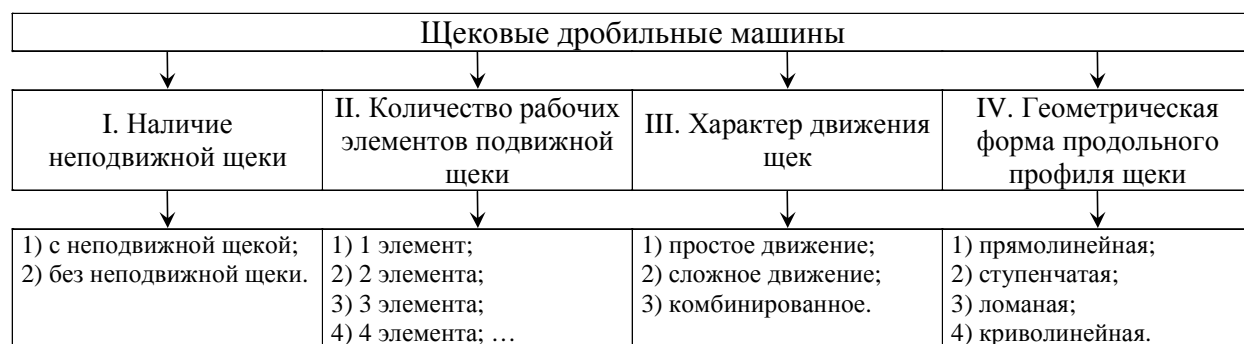


Рис. 2. Авторский вариант классификации щековых дробильных машин

В качестве первого признака в классификации вынесено «Наличие неподвижной щеки». Большинство представленных в таблице 1 конструкций дробилок содержат в своей структуре жестко зафиксированную неподвижную щеку. Исключением являются лишь изобретения под номерами 29, 35, 36 (табл. 1). При этом в конструкциях машин №№29 и 35 (табл. 1) обе щеки взаимоподвижны и работают от одного привода, а в конструкции №36 (табл. 1) между двумя щеками расположен свободно вращающийся эксцентриковый барабан. Применение в работе дробильной машины только подвижных щек позволяет направить все давление, которое испытывают щеки, в пользу разрушающего воздействия.

Следующим признаком классификации является «Количество рабочих элементов подвижной щеки». Чаще всего щека представляет собой звено, состоящее из деталей, жестко соединенных между собой, без возможности их относительного движения. Большинство представленных в таблице 1 машин (№№1-9, 11-14, 16-21, 24-27, 29-35) имеют в своей структуре дробящую плиту – щеку, состоящую из одного рабочего элемента. К машинам, в которых щека (или щеки) выполнены из двух рабочих элементов, относятся изобретения под №№10, 15 и 22 (табл. 1). Элементы щеки при этом расположены последовательно друг за другом, имеют возможность относительного перемещения и, следовательно, предназначены для дробления материалов различной крупности. С трехэлементной щекой обнаружена лишь одна дробилка – №23 (табл. 1), с четырехэлементной – тоже одна (табл. 1, №28). Очевидно, что преобладающее авторство большинства конструкций дробилок со щеками, состоящими из более чем одного рабочего элемента, принадлежит д.т.н., профессору Дворникову Л.Т. и его ученикам [6, 16]. Уникальность таких машин заключается по сути в установке нескольких подвижных щек с одной из сторон камеры дробления, что уменьшает нагрузку на механизм и позволяет применять различные силы действия на дробимый материал для каждой из щек. Такие варианты исполнения щек оказывают положительное влияние на показатели эффективности и качества дробления материала.

Еще одним признаком классификации является «Характер движения щек», о котором написано выше. Помимо простого и сложного движений предлагается ввести третью группу – комбинированное. Этот вариант движения щек присущ только дробилкам, в которых подвижная щека (или щеки) по критерию «Количество составных элементов подвижной щеки» относятся к двух- и более элементным. Например, в дробилках под №№15 и 22 (табл. 1) верхний элемент подвижной щеки совершает простое качательное движение относительно верхнего шарнира, которым он соединен со стойкой, а нижний элемент, соединенный через шарниры с верхним элементом и трехпарным звеном, совершает сложное плоскопараллельное движение.

Отдельным признаком классификации щековых дробилок авторы выносят «Геометрическую форму продольного профиля щек». По этому признаку дробильные машины могут быть разделены на 4 группы; 1) с прямолинейным профилем, 2) со ступенчатым профилем, 3) с ломаным профилем, 4) с криволинейным профилем. В основу

такого разделения положено направление усилия, приводящего к разрушению дробимого материала. При выполнении продольного профиля щеки линейным усилие дробления будет направлено по нормали к поверхности, и в каждой точке контакта щеки с материалом линии его действия будут параллельны между собой. При этом авторы считают необходимым вынести отдельно два варианта выполнения профиля – ступенчатый и ломаный, при которых рабочая поверхность щеки также линейна, но в разных точках контакта щеки с материалом линии действия сил дробления будут направлены под разным углом, хотя и могут быть параллельны друг другу на определенном участке продольного профиля щеки. Четвертая группа подразумевает принципиальное отличие профиля щеки от прямолинейного [17].

К первой группе относятся изобретения, показанные в таблице 1 под номерами 1-9, 11, 13, 14, 17-19, 21, 24, 26, 27, 29, 31, 33, 34. В конструкциях этих машин щеки выполнены традиционно одноэлементными, а продольный профиль – строго линейным.

К дробилкам со ступенчатой формой щек относятся машины с номерами 12, 20 в таблице 1. Выполнение подвижной щеки в форме ступеней приводит к образованию нескольких камер дробления с разным углом захвата. Такое решение позволяет увеличить объем камеры дробления, воздействовать на материал различными участками ступеней щек под разными углами давления, тем самым способствуя увеличению пропускной способности машины.

В группу машин с ломаной формой щек попадают дробилки №№ 10, 15, 22, 23, 28 (табл. 1). Эти дробильные машины оснащены щеками, состоящими из нескольких рабочих элементов, обладающих возможностью относительного перемещения. При этом каждый отдельный элемент щеки выполнен с прямолинейным продольным профилем, но с разным углом захвата материала.

Группа машин с непрямолинейной формой щек включает в себя изобретения, приведенные в таблице 1 под номерами 16, 25, 30, 32, 35, 36. Их самая главная общая особенность – это дифференцированное приложение нагрузки в разных точках контакта щеки с разрушаемым материалом, за счет чего они имеют повышенную эффективность дробления и пониженную скорость изнашивания дробящих элементов.

Особенность дробилки №16 (табл. 1) заключается в наличии криволинейных выступов на съемных футеровках щек. Это устройство упрощает разгрузку материала при дроблении слоистых горных пород.

Дробилка №25 (табл. 1) выполнена с полусферическими углублениями на неподвижной и подвижной щеках, что позволяет перейти от разрушения материала сжатием на разрушение изгибом, уменьшая энергоемкость процесса дробления, а также обеспечивая эффективную переработку кусков материала пластинчатой и игольчатой форм.

Дробильная машина №30 (табл. 1) имеет щеки, изогнутые под тупым углом от вертикали. Такая конструкция увеличивает эффективность дробления прочных и абразивных материалов.

Представленный в таблице 1 под номером 32 вариант дробилки содержит подвижную щеку с выпуклой по синусоиде рабочей поверхностью. Кинематика приводного механизма обеспечивает плавное качание подвижной щеки относительно неподвижной без проскальзывания, что уменьшает переизмельчение материала и увеличивает срок службы футеровочных плит.

В структуре дробилки №35 (табл. 1) содержатся две подвижные щеки, каждая из которых выполнена вогнутой по профилю эвольвенты круга, что позволяет воздействовать на разрушаемый объект разнонаправленными силами, увеличивает объем камеры дробления и повышает производительность процесса дробления.

Щеки двухкамерной дробилки №36 (табл. 1) выполнены выпукло-вогнутыми, хотя авторы изобретения и не уточняют кривизну рабочих поверхностей. Однако по существу, это не щековая, а валковая эксцентриковая дробилка, в которой перемещение щек служит лишь для регулировки величины разгрузочного зазора.

Таким образом, не только каждая из представленных в таблице 1 щековых дробилок, но и любые другие технические решения, могут быть отнесены к конкретной группе классификационных признаков. Например, дробилка №26 (табл. 1) – I<sup>1</sup>-II<sup>1</sup>-III<sup>2</sup>-IV<sup>1</sup>; или №35 – I<sup>2</sup>-II<sup>1</sup>-III<sup>1</sup>-IV<sup>4</sup>.



## **Перспективы применения щековых дробилок с криволинейным продольным профилем щек**

Наиболее перспективным способом повышения качества готовой продукции и увеличения производительности оборудования является автоматизация производственных процессов. И в этом плане дробильные машины не являются исключением, они также приспособляются к встраиванию в автоматические линии [3]. Одной из областей применения дробилок является их включение в комплекс для подготовки топлива для автоматических котлов. Получить оптимальную фракцию каменного угля без твердых включений и штыба позволяет щековая дробилка.

Размер фракций угля, используемого в автоматических котлах, как правило, составляет 20-40 мм. При этом важно учитывать, что уголь обладает невысокой твердостью, поэтому необходимо следить за чрезмерным измельчением и уплотнением конечной фракции, а в идеальном случае получать строго заданный размер гранул. Следовательно, требуется прикладывать дифференцированную нагрузку во всех точках контакта щеки и породы, чтобы создать необходимое и достаточное усилие для эффективного дробления. С этой точки зрения наиболее рациональным решением авторы видят конструкции *щековых дробильных машин с двумя подвижными щеками, имеющими криволинейный продольный профиль*. Однако такое исполнение щек требует строго научного обоснования и решения ряда **новых задач**.

1. Разработка и обоснование рабочего механизма. Практика создания и эксплуатации щековых дробилок свидетельствует о том, что особое внимание должно уделяться простоте кинематической схемы и конструкции машины. Любое усложнение схемы, как бы оно не выглядело заманчиво на первый взгляд, может привести к усложнению конструкции и удорожанию эксплуатации. Очевидно, что подвижность двух щек должна обеспечиваться одним приводом. С этой точки зрения представленные в таблице 1 дробилки №29 и №35 могут рассматриваться как вполне рабочий вариант. Однако им присущ весьма существенный недостаток – это невозможность реализации синхронного движения щек, что приводит к возникновению различных усилий дробления на материал со стороны каждой отдельной щеки. Можно предположить, что синхронность движения щек реализуется только при условии введения в конструкцию поступательной кинематической пары, причем непосредственно перед тягами, соединенными со щеками.

2. Установление рациональной геометрической формы продольного профиля щеки. Криволинейный продольный профиль естественным образом усложняет конструкцию щеки. Однако при воздействии на разрушаемый материал щекой с прямолинейным профилем действующие усилия всегда параллельны между собой, т.к. они перпендикулярны плоской щеке, и никаким образом не фокусируются на дроблении породы, что является существенным недостатком таких дробильных машин. Известное решение под №35 в таблице 1 с применением эвольвенты в качестве кривой для описания продольного профиля щеки не может рассматриваться как единственно возможное и наиболее рациональное, т.к. обоснований сделанному авторами изобретения выбору в литературных источниках не обнаружено. Кривизна продольного профиля щеки естественным образом оказывает влияние на характер воздействия на разрушаемый материал, на объем и размеры камеры дробления, на скорость изнашивания щеки, на нагрузки, возникающие в рабочем механизме. Установление этих закономерностей в совокупности с ответом на вопрос, вогнутыми ли должны быть щеки, выпуклыми или вогнуто-выпуклыми, позволит решить проблемы снижения энергоемкости процесса дробления и получения максимально возможного объема готовой продукции заданной формы и размера гранул.

3. Изучение механики разрушения горных пород щековыми дробилками с криволинейным продольным профилем щек. Наличие криволинейного профиля обуславливает дифференцированное приложение нагрузки от щеки к объекту дробления как по величине, так и по направлению. В связи с этим становятся актуальными задачи, связанные с изучением поведения кусков горных пород в таких камерах дробления, установление и анализ стадий разрушения отдельных кусков, определение параметров их

движения в камере. Решение поставленных задач позволит не только установить оптимальные режимы работы дробилки, но и определить размеры конструктивных элементов машины, обусловленные условиями прочности и жесткости.

4. Нахождение конструктивных решений, обеспечивающих получение готовой продукции с заданными свойствами. Как правило, дробилка, работающая в составе комплекса для производства топлива для автоматических угольных котлов, должна обеспечивать получение размера и объем измельчаемого ей сырья в соответствии со скоростью его переработки другими аппаратами линии. Очевидно, что камера дробления с целью получения продукта заданной крупности должна иметь фиксированные продольные и поперечные размеры выходной щели, что может быть реализовано путем установления шарнира в нижней части щеки, а также добавлением в конструкцию колосниковой решетки, что позволит уменьшить стоимость всей производственной линии за счет частичного сокращения сортiroвочного оборудования.

### **Вывод**

Всё вышеизложенное позволяет сделать вывод, что решение поставленных проблем обеспечит развитие теоретических основ исследования дробильных машин, позволит разработать научно-практические подходы к рациональному проектированию дробилок с криволинейным продольным профилем щек, а также найти новые технические решения, обеспечивающие повышение производительности работ, связанных с получением сырья для автоматических производственных процессов.

### **Список литературы**

1. Александрова Т.Н. Комплексная и глубокая переработка минерального сырья природного и техногенного происхождения: состояние и перспективы // Записки Горного института. – 2022. – Т. 256. – С. 503-504.
2. Tsvetkova A., Katysheva E. Present problems of mineral and raw materials resources replenishment in Russia // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. 2019, vol. 30, pp. 573-578.
3. Bazhin V.Yu., Kuskov V.B., Kuskova Ya.V. Processing of low-demand coal and other carbon-containing materials for energy production purposes // Inżynieria Mineralna. 2019, vol. 21, no. 1, pp. 195-198. DOI: 10.29227/IM-2019-01-37.
4. Господариков А.П., Ефимов Д.А. О некоторых аспектах повышения эффективности дробильного оборудования на рудоподготовительном переделе // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 18. – С. 128-133. – doi.org/10.26160/2658-3305-2023-18-128-133.
5. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
6. Дворников Л.Т., Макаров А.В. К проблеме совершенствования щековых дробильных машин // Машиностроение. – 2011. – № 21. – С. 115-131.
7. Johansson M.A fundamental model of an industrial-scale jaw crusher // Minerals Engineering. 2017, vol. 105, pp. 69-78. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.01.012.
8. Golikov N.S., Timofeev I.P. Determining the performance of a single-lever jaw crusher taking into account the kinematics parameters of its working mechanism // Journal of Physics: Conference Series. 2018, vol. 1015, no. 5, p. 052008. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/5/052008.
9. Fladvad M., Onnela T. Influence of jaw crusher parameters on the quality of primary crushed aggregates // Minerals Engineering. 2020, vol. 151, p. 106338. DOI: 10.1016/j.mineng.2020.106338.
10. Oke P. K., Alonge A., Olaiya N. G. Performance optimization of jaw-type rock crushing machine through shaft eccentricity redesign // African Journal of Science, Technology, Innovation and Development. 2020, vol. 12, no. 4, pp. 435-442. DOI: 10.1080/20421338.2019.1688491.
11. Oduori M.F., Mutuli S.M., Munyasi D.M. The kinematics and mechanical advantage of the double-toggle jaw crusher // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2018, vol. 232, no. 18, pp. 3325-3336. DOI: 10.1177/0954406217735555.
12. Cleary P.W. Advanced comminution modelling: Part 1 – Crushers // Applied Mathematical Modelling. 2020, vol. 88, pp. 238-265. DOI: 10.1016/j.apm.2020.06.049.
13. Tufan B., Tufan E. Evaluating the Impacts of Jaw Crusher Design Parameters by Simulation // 10th International Conference on Advances in Science, Engineering and Technology (ICASET-18). – Paris (France), 2018. – P. 5-9. – DOI: 10.17758/URUAE2.AE06181004.
14. Zhong X. Optimization Design and Simulation Analysis for Cavity Shape of Single Toggle Jaw Crusher // Journal of Physics: Conference Series. 2020, vol. 1622, no. 1, p. 012023. DOI: 10.1088/1742-6596/1622/1/012023.
15. Белоглазов И.И., Степанян А.С., Феоктистов А.Ю., Юсупов Г.А. Моделирование процесса дезинтеграции в щековой дробилке со сложным качанием щек // Обогащение руд. – 2018. – №2. – С. 3-8. – DOI: 10.17580/or.2018.02.01.

16. Дворников Л.Т., Чернов П.Е. К вопросу о совершенствовании двухщечковых дробильных машин // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2020. – № 7. – С. 33-36. DOI: 10.26160/2658-3305-2020-7-33-36.
17. Копосов П.В., Жуков И.А., Бойко В.С. Обзор кинематических схем дробильных машин с непрямолинейной формой щеки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – №11-1. – С. 102-115. – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_111\_0\_102.

### References

1. Alexandrova T.N. Complex and deep processing of mineral raw materials of natural and man-made origin: state and prospects // Journal of Mining Institute. 2022, vol. 256, pp. 503-504.
2. Tsvetkova A., Katysheva E. Present problems of mineral and raw materials resources replenishment in Russia // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. 2019, vol. 30, pp. 573-578.
3. Bazhin V.Yu., Kuskov V.B., Kuskova Ya.V. Processing of low-demand coal and other carbon-containing materials for energy production purposes // Inżynieria Mineralna. 2019, vol. 21, no. 1, pp. 195-198. DOI: 10.29227/IM-2019-01-37.
4. Gospodarikov A.P., Efimov D.A. On some aspects of improving the efficiency of crushing equipment at ore preparation processing // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2023, no. 18, pp. 128-133. doi.org/10.26160/2658-3305-2023-18-128-133.
5. Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muizemnek Yu.A. Crushers. Design, calculation, features of operation. – М.: Mechanical Engineering, 1990. – 320 p.
6. Dvornikov L.T., Makarov A.V. To the problem of improving jaw crushing machines // Mechanical Engineering. 2011, no. 21, pp. 115-131.
7. Johansson M.A fundamental model of an industrial-scale jaw crusher // Minerals Engineering. 2017, vol. 105, pp. 69-78. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.01.012.
8. Golikov N.S., Timofeev I.P. Determining the performance of a single-lever jaw crusher taking into account the kinematics parameters of its working mechanism // Journal of Physics: Conference Series. 2018, vol. 1015, no. 5, p. 052008. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/5/052008.
9. Fladvad M., Onnela T. Influence of jaw crusher parameters on the quality of primary crushed aggregates // Minerals Engineering. 2020, vol. 151, p. 106338. DOI: 10.1016/j.mineng.2020.106338.
10. Oke P. K., Alonge A., Olaiya N. G. Performance optimization of jaw-type rock crushing machine through shaft eccentricity redesign // African Journal of Science, Technology, Innovation and Development. 2020, vol. 12, no. 4, pp. 435-442. DOI: 10.1080/20421338.2019.1688491.
11. Oduori M.F., Mutuli S.M., Munyasi D.M. The kinematics and mechanical advantage of the double-toggle jaw crusher // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2018, vol. 232, no. 18, pp. 3325-3336. DOI: 10.1177/0954406217735555.
12. Cleary P.W. Advanced comminution modelling: Part 1 – Crushers // Applied Mathematical Modelling. 2020, vol. 88, pp. 238-265. DOI: 10.1016/j.apm.2020.06.049.
13. Tufan B., Tufan E. Evaluating the Impacts of Jaw Crusher Design Parameters by Simulation // 10th International Conference on Advances in Science, Engineering and Technology (ICASET-18). – Paris (France), 2018. – P. 5-9. – DOI: 10.17758/URUAE2.AE06181004.
14. Zhong X. Optimization Design and Simulation Analysis for Cavity Shape of Single Toggle Jaw Crusher // Journal of Physics: Conference Series. 2020, vol. 1622, no. 1, p. 012023. DOI: 10.1088/1742-6596/1622/1/012023.
15. Beloglazov I.I., Stepanyan A.S., Feoktistov A.Yu., Yusupov G. A. Modeling of the disintegration process in a jaw crusher with a complex cheek swing // *Obogashchenie Rud.* 2018, no. 2, pp. 3-8. DOI: 10.17580/or.2018.02.01.
16. Dvornikov L.T., Chernov P.E. On the issue of improving double-jaw crushing machines // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2020, no. 7, pp. 33-36. DOI: 10.26160/2658-3305-2020-7-33-36.
17. Kopusov P.V., Zhukov I.A., Boiko V.S. Justification of the practical application of jaw crushing machines with a non-linear cheek shape // Mining information and analytical bulletin. 2023, no. 11-1, pp. doi.org/102-115.10.25018/0236\_1493\_2023\_111\_0\_102.

### Сведения об авторах:

### Information about authors:

<b>Копосов Павел Вячеславович</b> – аспирант	<b>Kopusov Pavel Vyacheslavovich</b> – postgraduate student
<b>Жуков Иван Алексеевич</b> – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой машиностроения	<b>Zhukov Ivan Alekseevich</b> – doctor of technical sciences, associate professor, head of Department of mechanical engineering
<b>Голиков Николай Сергеевич</b> – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения	<b>Golikov Nikolay Sergeevich</b> – candidate of technical sciences, associate professor of Department of mechanical engineering
tmmiok@yandex.ru	

Получена 12.02.2024