

## КОНСТРУКЦИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ДВУХКАМЕРНОЙ ЩЕКОВОЙ ДРОБИЛКИ

*Никитин А.Г., Лубин В.А.*

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк*

**Ключевые слова:** дробление, щековая дробилка, двухкамерная щековая дробилка, двухплечего рычаг, шарнир, подвижная щека.

**Аннотация.** В статье приведен анализ работы однокамерных щековых дробилок который показал, что их общим недостатком является наличие при работе холостого хода, что не только лимитирует производительность, но и ведет к перерасходу энергии. Выявлено, что недостатком известной конструкции двухкамерной щековой дробилки является то, что при ее работе может произойти заклинивание разрушаемого куска в нижней части камеры дробления и, в результате, к заваливанию камеры дробления по всей ее высоте. Описана конструкция двухкамерной щековой дробилки, обеспечивающая непрерывный процесс переработки подлежащего дроблению материала, что способствует повышению производительности дробилки. Материалы статьи представляют интерес для специалистов в области машиностроения, а также горной, металлургической, химической и строительной промышленности.

## THE DESIGN OF A HIGH-PERFORMANCE TWO-CHAMBER JAW CRUSHER

*Nikitin A.G., Lubin V.A.*

*Siberian State Industrial University, Novokuznetsk*

**Keywords:** crushing, jaw crusher, two-chamber jaw crusher, double-arm lever, hinge, movable jaw.

**Abstract.** The article provides an analysis of the operation of single-chamber jaw crushers, which showed that their common disadvantage is the presence of idling during operation, which not only limits productivity, but also leads to energy overruns. It has been revealed that the disadvantage of the known design of a two-chamber jaw crusher is that during its operation, the piece being destroyed may jam at the bottom of the crushing chamber and, as a result, the crushing chamber may fill up over its entire height. The design of a two-chamber jaw crusher is described, which provides a continuous processing process of the material to be crushed, which helps to increase the productivity of the crusher. 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

Высокие темпы роста производства горной, металлургической, строительной и других отраслях промышленности обуславливает увеличение использования минерального сырья, необходимого для ведения технологических процессов. Главным резервом улучшения работы агрегатов, перерабатывающих исходный материал, является повышение их производительности. Таким образом, переработка минерального сырья является одним из главных этапов подготовки ископаемых для дальнейшего использования.

Производительность технологических агрегатов зависит от качества перерабатываемых материалов, в том числе от их фракционного состава. Поэтому подготовка исходных материалов для ведения дальнейших технологических процессов является приоритетным направлением с точки зрения повышения не только производительности, но и качества готовой продукции, является актуальнейшей задачей на текущей стадии развития промышленности [1].

Все способы подготовки минерального сырья к дальнейшему использованию на первых этапах включают в себя его дробление с целью получения необходимого фракционного состава для дальнейшей переработки.

### Состояние вопроса

В промышленности большое количество энергии, затрачиваемой на подготовку сырья для дальнейшего использования, приходится на процессы дробления, которые осуществляются на дробилках. В связи с этим очень остро стоит проблема повышения

производительности и энергосбережения, при этом потребность в переработанных, с целью уменьшения размеров, исходных материалов увеличивается ежегодно примерно на 7% [2]. Это связано с тем, что технологические процессы в процессе работы используют кусковой материал заданного размера, который достигается путем применения дробильного оборудования. Наиболее часто для осуществления процесса разрушения кусков хрупкого материала используют дробильные машины различного типа: валковые [3], конусные [4], но в основном щековые [5-8].

В общем случае однокамерная щековая дробилка состоит из корпуса, в котором располагаются две щеки, одна из которых крепится к корпусу неподвижно, а другая щека – подвижная, совершающая в процессе работы качательное движение, при этом щеки располагаются относительно друг друга под некоторым углом, то есть зазор между щеками (зона дробления) имеет форму клина с ужением к низу.

Щековая дробилка работает следующим образом. Подлежащие дроблению куски хрупкого материала загружаются в зазор сверху. При движении подвижной щеки в сторону неподвижной (рабочий ход) куски сжимаются и под действием возникающих в них нормальных напряжений разрушаются. При обратном ходе подвижной щеки в сторону от неподвижной (холостой ход), полученные при предыдущем ходе раздробленные куски перемещаются вниз под действием силы тяжести. Процесс дробления продолжается до тех пор, пока размер вновь полученных кусков не станет меньше минимального размера клина, образованного щеками. В этом случае происходит разгрузка зоны дробления.

В основу классификации однокамерных щековых дробилок положен характер движения подвижной щеки. По этому принципу их делят на две основные группы: с простым и сложным движением щеки. У дробилок первой группы подвижная щека совершает качательное движение, центром которого является центр оси подвеса щеки. Недостатком такой конструкции является малый ход сжатия в верхней части камеры дробления, что приводит к невыгодному условию надежного захвата и дробления материала и, следовательно, к снижению производительности дробилки. У дробилок второй группы траектории движения точек подвижной щеки представляют собой замкнутые кривые в виде эллипса, при этом нормальные условия для захвата и дробления находятся в верхней части камеры дробления, а в нижней части движение подвижной щеки препятствует разгрузке, вызывая интенсивное истирание нижней части неподвижной щеки и образование большого количества переизмельченного материала и пыли [9].

Одним из основных показателей работы щековых дробилок являются их производительность, то есть отношение переработанного количества материала (массы или объема) к единице времени. Все параметры, влияющие на производительность щековых дробилок, можно разделить на две группы: характеристики дробимого материала и конструктивные особенности дробилки – ее кинематические и геометрические характеристики. Характеристиками дробимого материала являются его прочность и гранулометрический состав.

Несмотря на то, что огромное количество работ посвящено вопросу расчёта производительности, он остается открытым, а в зависимости от исходных посылов, имеет противоречивый характер. В частности, некоторые авторы считают, что гранулометрический состав и прочность дробимого материала являются случайными величинами и надо учитывать их среднестатистические значения. Другие полагают, что эти факторы не следует считать случайными величинами и их необходимо учитывать при определении производительности щековых дробилок. Из выше изложенного следует, что для достоверной оценки производительности вновь проектируемой щековой дробилки необходимо провести тщательный анализ всех факторов, влияющих на неё.

Клушанцев Б.В. отмечает, что с увеличением прочности растёт и производительность [9]. Однако в этом же источнике приводится рисунок, согласно которому с увеличением прочности производительность снижается.

Очевидно, что прочность дробимого материала оказывает значительное влияние на энергосиловые характеристики дробилки и процесса дробления. Однако на производительность прочность влияет опосредовано. Так чем прочнее материал, тем при меньшей степени сжатия происходит глобальное разрушение дробимого куска из-за меньшего коэффициента запаса пластичности и наоборот.

Так как щековые дробилки являются дробилками сжатия, то глобальная трещина, возникающая в результате сжатия куска щеками при соответствующем ходе сжатия, располагается поперек камеры дробления (перпендикулярно вертикали), а вновь полученные куски, из-за подпора снизу, не имеют возможности переориентироваться и продолжают разрушаться в дальнейшем процессе дробления как единый кусок, практически до выхода из камеры дробления. Таким образом, можно сделать вывод, что прочность не влияет на производительность щековых дробилок и в дальнейшем считать, что уменьшение объема дробимого куска пропорционально ходу сжатия на данном участке за счет разрушения некоторой части куска при сжатии.

С точки зрения гранулометрии производительность обратно пропорциональна проценту крупной фракции в дробимом материале, так как крупные куски входят в контакт со щеками дробилки на большем удалении от выходной щели и им требуется пройти в камере дробления больший путь, чем более мелким, соответственно, затратить больше времени.

Степень влияния гранулометрического состава следует учитывать коэффициентом процентного содержания максимально крупной фракции. Данный коэффициент следует принимать за единицу, если все куски максимального размера, и увеличивать по мере уменьшения содержания максимально крупной фракции.

Также известна щековая дробилка [10], обеспечивающая поступательное движение подвижной щеки со строго определённым движением звеньев за счет применения двухкривошипного шарнирного четырехзвенника с общим синхронизированным приводом кривошипов, при этом траектории движения всех точек щеки являются окружностями, а ход сжатия по всей высоте камеры дробления постоянный.

Такая кинематическая схема обеспечивает производительность, превосходящую производительность дробилок с простым и сложным движением щёк в среднем на 24% и 76% соответственно. Кроме того, за счёт обеспечения форсированной эвакуации раздробленного материала из камеры дробления в течение 3/4 оборота эксцентрикового вала, количество переизмельчённого материала в готовом продукте, полученном при дроблении в дробилке с поступательным движением щеки, в среднем на 10% ниже, чем в готовом продукте, полученном в дробилке с простым движением щеки, и на 30% ниже, чем в готовом продукте дробления в дробилке со сложным движением щеки.

Общим недостатком рассмотренных выше конструкций щековых дробилок является наличие при работе холостого хода, что не только лимитирует их производительность, но и ведет к перерасходу энергии.

Наиболее близким из известных технических решений к рассматриваемому является двухкамерная щековая дробилка, содержащая корпус, две неподвижные щеки и приводимую в движение кривошипно-шатунным механизмом подвижную щеку, которая установлена на двух шарнирно-неподвижных опорах, закрепленных на корпусе таким образом, что ось вращения подвижной щеки проходит через центр ее тяжести [11]. Недостатком такой конструкции является постоянство зазора между щеками, то есть размера разгрузочной щели дробилки на уровне неподвижного опорного шарнира, соединяющего подвижную щеку с корпусом, что может привести к заклиниванию разрушаемого куска в нижней части камеры дробления и заваливанию камеры дробления по всей ее высоте.

### **Объект исследования**

Сотрудниками Сибирского государственного индустриального университета разработана конструкция двухкамерной щековой дробилки, обеспечивающая непрерывный процесс переработки подлежащего дроблению материала.

На рисунке 1 схематично изображена предлагаемая двухкамерная щековая дробилка.

Дробилка состоит из корпуса 1, с установленным на нем кривошипом 2, приводимым в движение электродвигателем (условно не показан). Кривошип 2 шарнирно соединен с приводным шатуном 3, шарнирно соединенным с подвижной щекой 4, выполненной в виде двуплечего рычага, опирающегося в нижней части на промежуточный шарнир 5, закрепленный на корпусе 1, при этом рычаг 4 имеет возможность поворачиваться относительно шарнира 5. Нижнее плечо двуплечего рычага 4 посредством промежуточных шатунов 6 шарнирно соединено с двумя боковыми подвижными щеками 7 и 8, которые закреплены их верхними частями шарнирно на корпусе 1.

В верхней части корпуса 1 расположено загрузочное окно 9, а в нижней – разгрузочное окно 10.

Работа устройства осуществляется следующим образом.

Кусок дробимого материала подается через загрузочное окно 9 в одну из камер дробления, например, камеру I, в зону дробления. При вращении кривошипа 2 движение от него через шатун 3 передается рычагу 4. Рычаг 4 верхним плечом совершает качание в сторону боковой щеки 7 и дробит кусок. Одновременно нижнее плечо рычага 4 движется в противоположную сторону и через промежуточный шатун 6 тянет щеку 7, сжимая и разрушая дробимый материал в нижней части щеки 7, при этом зазор в горизонтальной плоскости на уровне опорного шарнира 5 уменьшается.

В процессе движения верхнего плеча рычага 4 в сторону щеки 7 камера II раскрывается и в нее подается другой кусок.

Во время обратного хода шатуна 3 рычаг 4 нижним плечом через промежуточный шатун 6 отодвигает щеку 7 от опорного шарнира 5, при этом зазор в горизонтальной плоскости на уровне опорного шарнира 5 увеличивается и раздробленный материал удаляется через разгрузочное окно 10, а рычаг 4 верхним плечом совершает качание в сторону боковой подвижной щеки 8 и дробит кусок. В дальнейшем, цикл дробления и разгрузки повторяется.

Таким образом, при каждом качании рычага происходит процесс дробления, исключая холостой ход, что позволяет повысить производительность щековой дробилки.

Технический результат, получаемый при использовании предлагаемой конструкции двухкамерной щековой дробилки, заключается в расширении технологических возможностей устройства за счет того, что подвижная щека, приводимая в движение кривошипно-шатунным механизмом, выполнена в виде двуплечего рычага, закрепленного на корпусе с помощью промежуточного шарнира, и соединенного шарнирно нижним плечом посредством промежуточных шатунов с подвижными боковыми щеками, позволяет изменять величину зазора на уровне этого шарнира, что исключает вероятность заклинивания камеры дробления разрушаемым материалом, и, как следствие, приводит к повышению производительности щековой дробилки.

**Выводы.** Анализ работы однокамерных щековых дробилок показал, что их общим недостатком является наличие при работе холостого хода, что не только лимитирует производительность, но и ведет к перерасходу энергии. Недостатком известной конструкции двухкамерной щековой дробилки является то, что при ее работе может произойти

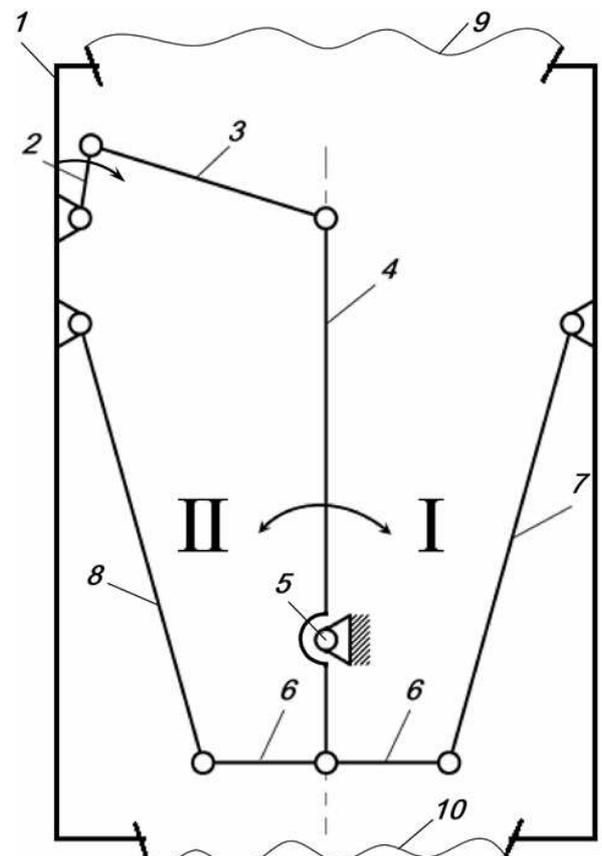


Рис. 1. Схема двухкамерная щековой дробилки

заклинивание разрушаемого куска в нижней части камеры дробления и, в результате, к заваливанию камеры дробления по всей ее высоте. Разработана конструкция двухкамерной щековой дробилки, обеспечивающая непрерывный процесс переработки подлежащего дроблению материала, что способствует повышению производительности дробилки.

**Финансирование.** Исследование выполнено за счёт средств ФГБОУ ВО «СибГИУ», договор №173/2024/УНИ от 03.06.2024 г.

#### Список литературы

1. Целиков А.И. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1987. – 440 с.
2. Jack de la Vergne. Hard Rock Miner's Handbook. – Edmonton. Alberta, Canada: Stantec Consulting, 2008. – 330 p.
3. Holger Lieberwirth, Philipp Hillmann, Max Hesse. Dynamics in double roll crushers // Minerals Engineering. 2017, vol. 103-104, pp. 60-66. doi.org/10.1016/j.mineng. 2016.08.009.
4. Atta K.T., Euz'ebio T., Ibarra H., Silva Moreira V., Johansson A. Extension, Validation, and Simulation of a Cone Crusher Model // IFAC-PapersOnLine. 2019, vol. 52, no. 14, pp. 1-6. doi.org/10.1016/j. ifacol.2019.09.154.
5. Legendre D. Numerical and Experimental Optimization Analysis of a Jaw Crusher and a Bubble Column Reactor. – Åbo Akademi University: Turku, Finland, 2019. – 78 p.
6. Никитин А.Г., Люленков В.И., Витушкин А.В., Калюкина Н.Д. Сравнительный анализ работы щековых дробилок с различными кинематическими схемами // Известия вузов. Черная металлургия. – 2012. – №10. – С. 30-31. – doi.org/10.17073/0368-0797-2012-10-30-31.
7. Patent 105682804 US. Jaw-crushers. Sandvik intellectual property / Lindstrom Anders. – Publ. 15.06.2016.
8. Копосов П.В., Жуков И.А., Голиков Н.С. Щековые дробилки с криволинейным продольным профилем щеки: классификация, тенденции развития и перспективы применения // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – № 24. – С. 135-145.
9. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
10. Никитин А.Г., Епифанцев Ю.А., Витушкин А.В. Расчёт производительности дробилки с плоскопараллельным движением щеки // Известия вузов. Черная металлургия. – 2013. – №10. – С. 40-42. – doi.org/10.17073/0368-0797-2013-10-40-42
11. Патент №171292 РФ. Двухкамерная щековая дробилка / Г.Л. Окунева, А.Н. Окунев. – Заявка №2017133935 от 28.09.2017; опубл. 29.05.2017, Бюл. № 16.

#### References

1. Tselikov A.I. Machines and aggregates of metallurgical plants. Vol. 1. – М.: Mechanical Engineering, 1987. – 440 p.
2. Jack de la Vergne. Hard Rock Miner's Handbook. – Edmonton. Alberta, Canada: Stantec Consulting, 2008. – 330 p.
3. Holger Lieberwirth, Philipp Hillmann, Max Hesse. Dynamics in double roll crushers // Minerals Engineering. 2017, vol. 103-104, pp. 60-66. doi.org/10.1016/j.mineng. 2016.08.009.
4. Atta K.T., Euz'ebio T., Ibarra H., Silva Moreira V., Johansson A. Extension, Validation, and Simulation of a Cone Crusher Model // IFAC-PapersOnLine. 2019, vol. 52, no. 14, pp. 1-6. doi.org/10.1016/j. ifacol.2019.09.154.
5. Legendre D. Numerical and Experimental Optimization Analysis of a Jaw Crusher and a Bubble Column Reactor. – Åbo Akademi University: Turku, Finland, 2019. – 78 p.
6. Nikitin A.G., Lyulenkov V.I., Vitushkin A.V., Kalyukina N.D. Comparative analysis of the operation of jaw crushers with various kinematic schemes // Izvestiya vuzov. Ferrous metallurgy. 2012, no. 10, pp. 30-31. doi.org/10.17073/0368-0797-2012-10-30-31.
7. Patent 105682804 US. Jaw-crushers. Sandvik intellectual property / Lindstrom Anders. – Publ. 15.06.2016.
8. Kopusov P.V., Zhukov I.A., Golikov N.S. Jaw crushers with curved longitudinal profile of cheeks: classification, development trends and application prospects // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2024, no. 24, pp. 135-145. doi.org/10.26160/2658-3305-2024-24-135-145.
9. Klushantsev B.V., Kosarev A.I., Muizemnek Yu.A. Crushers. Design, calculation, features of operation. – М.: Mechanical Engineering, 1990. – 320 p.
10. Nikitin A.G., Epifantsev Yu.A., Vitushkin A.V. Calculation of the productivity of a crusher with a plane-parallel cheek movement // Izvestiya vuzov. Ferrous metallurgy. 2013, no. 10, pp. 40-42. doi.org/10.17073/0368-0797-2013-10-40-42.
11. Patent No. 171292 RU. Two-chamber jaw crusher / G.L. Okuneva, A.N. Okunev. – Appl. No. 2017133935 from 28.09.2017; publ. 29.05.2017, Bul. No. 16.

#### Сведения об авторах:

#### Information about authors:

<b>Никитин Александр Григорьевич</b> – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры механики и машиностроения	<b>Nikitin Aleksandr Grigorievich</b> – doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of mechanics and mechanical engineering
<b>Лубин Владислав Александрович</b> – аспирант nikitin1601@yandex.ru	<b>Lubin Vladislav Aleksandrovich</b> – postgraduate student

Получена 07.06.2024