

УДК 69.002.5

UDC 69.002.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ ДРОБИЛЬНОГО И СОРТИРОВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПЕСЧАННО-ГРАВИЙНОЙ СМЕСИ И ПЕСКА**

**RESEARCH AND MODERNIZATION OF CRUSHING AND SORTING EQUIPMENT OF SAND AND SAND-GRAVEL MIXTURE**

Мултых Михаил Евгеньевич  
к.т.н., доцент

Moulytyh Mikhail Evgenievich  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Магомадов Алексей Сайпудинович  
д.т.н., профессор

Magomadov Aleksey Saipudinovich  
Dr.Sci.Tech., professor

Привалова Наталья Михайловна  
к.х.н., доцент

Privalova Natalia Mikhailovna  
Cand.Chem.Sci., associate professor

Привалов Дмитрий Михайлович  
студент 5 курса  
*Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия*

Privalov Dmitry Mikhailovich  
5th year student  
*Kuban State university of Technology, Krasnodar, Russia*

Объектом исследования явилась щековая дробилка СМД-108. Цель работы – исследование кинематических и динамических характеристик дробилки, определение причины быстрого разрушения рабочих органов машины. В качестве инструмента исследования были использованы методы математического анализа, теоретической механики и физики. В результате проведенных теоретических исследований были установлены скорости различных точек рабочих органов дробилки, а так же получены значения динамических нагрузок на них и даны рекомендации по оптимизации режима работы дробилки, а также ее конструкции

The object of studying was CMD-108 crusher. The aim of this scientific article is studying kinetic and dynamic parameters of crusher operating devices. As a tool of studying there were used methods of mathematic analysis, theoretic mechanics and physics. As a result of theoretic studies there were defined speeds of various points of the crusher operating devices as well as there were obtained the values of dynamic loads on them and given recommendations on optimization of the crusher operating conditions and its designs. There was also determined an optimum zone of the material crushing from the viewpoint of operating life of the hinged joints of movable jaw enabling to reduce to minimum dynamic impact components of the reactions of the supporting joints of the movable jaw which increases their operating life

Ключевые слова: АГРЕГАТ СРЕДНЕГО ДРОБЛЕНИЯ СМД-108, РАБОЧИЙ ОРГАН, ПРИВОД, КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, ЦЕНТР УДАРА

Keywords: SECONDARY CRUSHING MACHINE CMD-108, OPERATING DEVICE, DRIVE, KINETIC AND DYNAMIC ANALYSIS, CENTRE OF IMPACT

## **Введение**

Дробилки типа СМД-108, ц 2526 и конусные дробилки типа КМД – 1750Т-Д, выпускаемые с дистанционным управлением, производственным объединением “Уралмаш” работают достаточно эффективно при дроблении рудных и нерудных материалов (кроме пластиков) в открытых и замкнутых циклах дробления [1,2].

Дробление полезных ископаемых, добываемых в карьере или шахте, до крупности, при которой возможно осуществление

последующих стадий обработки (промывка, измельчение, сепарация и т. т.), является первоначальной и наиболее трудоемкой операцией в общем технологическом цикле процесса сортировки и обогащения. Раздробить руду или горную массу до 5-20 мм в одном аппарате невозможно, поэтому дробление материала от исходной крупности до требуемого размера осуществляется в нескольких последовательно работающих дробильных машинах. Обычно практикуется крупное дробление материалов (до кусков 200—250мм), среднее (20—100 мм) и мелкое (3—20 мм). Для крупного дробления применяют щековые и конусные (гирационные) дробилки, для среднего — щековые и конусные и для мелкого — конусные, короткоконусные, валковые и молотковые дробилки[3].

Для большинства отраслей промышленности, в том числе металлургической, огнеупорной, строительных материалов и других, наиболее распространены двух- и трехстадийные схемы дробления, при которых на первой стадии устанавливаются крупные щековые дробилки, а на последующих — конусные.

Они широко применяются на горнообогатительных предприятиях черной и цветной металлургии и в производстве строительных материалов.

Условия их эксплуатации предусматриваются ГОСТом 15150-69. Для дробилок с дистанционным управлением типа КМД – 1750-ДУС-эксплуатации предусматриваются ГОСТ 12.1.003-83 и ГОСТ 12.1.012-90, а обслуживающий персонал должен иметь индивидуальные средства защиты по ГОСТ 12.4.011-89 и ГОСТ 12.4.051-87[4,5].

Практика эксплуатации этих дробилок показывает, что при дроблении гравия довольно быстро выходят из строя её рабочие органы, шарнирные связи.

Это связано с тем, что ударные нагрузки при соударения их с дробильным материалом превышают допустимые пределы для материала, из которого изготовлены эти рабочие органы дробилок и, главное, шарнирные опоры.

С целью оптимизации конструкций и режима работы в данной работе решалась задача определения скоростей, мощности привода, т.е. кинематический и динамический расчет с применением теории удара на примере работы дробилки типа СМД-108 при производстве и калибровке гравия.

В ходе выполнения расчетов использовались традиционные методики кинематических и динамических расчетов в физике и теоретической механики и даны рекомендации по оптимизации работы дробилки и увеличения её срока эксплуатации.

Щековые дробилки различаются по характеру движения подвижной щеки и по расположению оси ее подвеса. Наибольшее распространение для крупного дробления получили дробилки с верхним подвесом и двумя распорными плитами, которые имеют простое качание щеки. Загрузка дробилки производится сверху через загрузочное отверстие, размер которого характеризует размер дробилки (например, дробилку с длиной загрузочного отверстия 2100 мм шириной 1500 мм называют «Щековая дробилка 2100X1500»). Разгружается дробилка снизу через разгрузочную щель, размер которой определяется в тот момент, когда подвижная щека наиболее удалена от неподвижной.

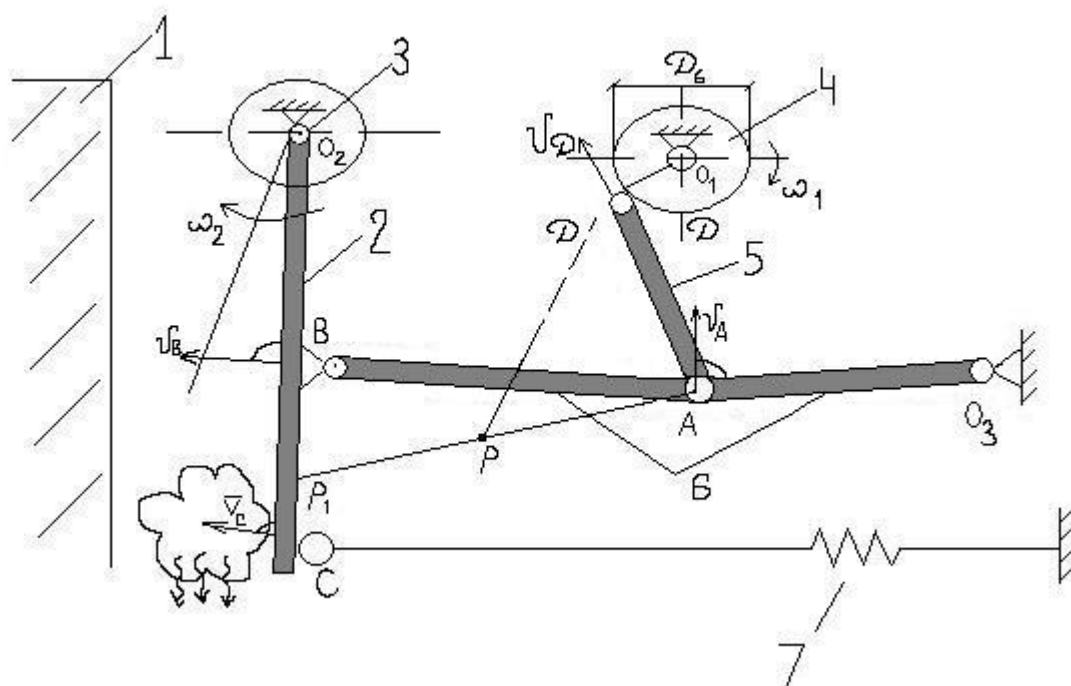


Рис.1 Принцип действия щековой дробилки с двумя распорными плитами

Принципиальная схема устройства щековой дробилки с двумя распорными плитами приведена на рис. 1. Дробление материала в этих дробилках производится между двумя щеками. Щека 1, являющаяся частью станины, неподвижна. Щека 2 является подвижной, она подвешена шарнирно на эксцентрике коленчатого вала 3и может поворачиваться на некоторый угол. Механизм, приводящий в движение подвижную щеку, состоит из коленчатого вала 4, шатуна 5, двух распорных плит 6.

При вращении коленчатого вала 4 нижний конец шатуна 5 совершает возвратно-поступательное движение в вертикальном направлении. При движении шатуна вверх подвижная щека под действием распорных плит приближается к неподвижной, при этом находящиеся между щеками куски дробимого материала раздавливаются. При движении шатуна вниз подвижная щека под действием своего веса и оттягивающей пружины 7 отходит от неподвижной щеки, при этом увеличивается ширина

разгрузочной щели, и дробленый материал выпадает из дробилки. Таким образом, в щековой дробилке полезная работа производится в течение половины оборота вала, когда подвижная щека, приближаясь к неподвижной, производит разрушение кусков материала загруженных в рабочее пространство.

Возвращение щеки дробилки, является холостым ходом. В связи с наличием холостого и рабочего ходов нагрузка на приводной двигатель у щековых дробилок неравномерна. Для выравнивания нагрузки предназначены два массивных маховика, аккумулирующих энергию при холостом ходе и отдающих ее при рабочем ходе. Один из маховиков используется в качестве шкива.

Щековые дробилки с двумя распорными плитами изготавливаются с размерами загрузочного отверстия от 100X150 до 1500X2100.

Основные технические данные дробилки:

$O_1D_1 = 0,4$  м,  $O_2C = 1,6$  м,  $O_2B = 1,4$  м,  $AB = 1,0$  м,  $O_3A = 0,5$  м,  $AD = 0,8$  м,  
 $U_D = 20$  м/с.

Поставляемые с дробилками приводные двигатели не предназначены для осуществления дистанционного запуска дробилки. Так, например, приводной двигатель дробилки 1500X1200 ммс учетом перегрузочной способности может развить максимальный момент 455 кГ·м, в то время как начальный момент трогания для дробилок этого типоразмера составляет 500—600 кГ·м.

Производительность дробилки указана для известняка с пределом прочности при растяжении  $G_p = 100$  кгс/см<sup>2</sup>, измеренным на приборе Т-3 и

объёмным весом  $\gamma=2,7 \text{ г/см}^3$ , определяемым согласно ГОСТ 8269-76 , при средневзвешенном размере загружаемых кусков не более 90 мм.

Кинематический расчет щековых дробилок с МД-108

Зная окружную скорость ротора в точке  $DV_D=20 \text{ м/с}$  (см. “основные технические данные”) и геометрию конструкции, можно определить линейные (окружные) скорости всех точек А,В,С и  $\omega_2$  (рис. 1):  
Мгновенный центр скоростей звена DA – точка Р, следовательно:

$$\frac{V_D}{DP} = \frac{V_A}{AP} \text{ откуда } V_A = \frac{AP}{DP} V_D = \frac{0,81}{0,9} \cdot 20 = 18 \text{ м/с}$$

Рассматривая плоскопараллельное движение звена АВ (мгновенный центр скоростей – точка Р<sub>1</sub>), находим скорость V<sub>В</sub> и затем V<sub>С</sub>:

V<sub>В</sub> =

D

Расстояния до мгновенного центра скоростей определяются из масштабного чертежа:[6,7]:

$$AP_1 = 1,12 \text{ м} \quad BP_1 = 0,32 \text{ м} \quad AP = 0,81 \text{ м} \quad DP = 0,9 \text{ м}$$

$$\text{Тогда } V_{B=D} = \frac{0,32}{1,12} \cdot \frac{0,81}{0,9} \cdot 20 = 0,2 \cdot 0,42 \cdot 20 = 1,7 \text{ м/с}$$

Угловая скорость подвижной щеки:

$$\omega_2 = \frac{1,7}{1,4} = 1,21 \text{ (сек}^{-1}\text{)}$$

А скорость подвижной щеки в зоне дробления ( в зоне удара по образцу):

$$V_C = 0_2C \cdot \omega_2 = 1,6 \cdot 1,21 = 1,94 \text{ м/с}$$

Используя это значение можно сделать и динамический расчет щековой дробилки СНД-108.

Для дробилок типоразмера 1500x1200 мм с учетом перегрузочной способности приводной двигатель начальный момент трогания может создать момент  $M = 500 \div 600 \text{ кГм}$ . Для дробилки СМД-108 тип электродвигателя А-62-4

Замена устаревших по конструкции дробилок, еще пригодных для длительной эксплуатации, на модернизированные дробилки связана с неоправданными капитальными затратами. Для автоматизации этих дробилок целесообразно применить вспомогательный привод, разработанный в Челябинском научно-исследовательском институте горного дела (ЧНИИГД).

Принцип действия системы становится понятным из рассмотрения формулы для мощности, потребляемой электродвигателем[5]:

$$P =$$

где  $M_n$  — момент сопротивления механизма, приводимого в движение;

$n_n$  — номинальная скорость вращения электродвигателя;

$\Psi_n \cdot i_n$  — соответственно к. п. д. и передаточное отношение передачи, соединяющей электродвигатель с приводимым в движение механизмом.

Анализируя приведенную формулу, легко установить что потребляемая электродвигателем мощность  $P$  на преодоление момента сопротивления механизма  $M_n$  при пуске будет тем меньше, чем больше передаточное отношение передачи. Основываясь на этом, для дистанционного запуска крупных щековых дробилок предусматривают вспомогательный двигатель, который соединяется с дробилкой через понижительную передачу с передаточным отношением  $i_n=100$ . Передача может быть выполнена на серийно выпускаемых редукторах, например типа ЦД2-50 или РМ-5001 с передаточным

отношением  $i_p = 48,57$  и клиноременной передаче с коэффициентом  $i_{к.п} = 2$ .

Смысл модернизации конструкции заключается в том, чтобы увеличить момент, создаваемый подвижной щекой  $O_2C$  и ее кинетическую энергию при прочих равных условиях. Как было показано в кинематическом анализе, увеличение скорости удара подвижной щеки в зоне дробления до  $v_c = 2$  м/с, увеличит кинетическую энергию щеки, также нужно добиться, чтобы в процессе дробления ударные (динамические) нагрузки на материал минимизировать, чтобы динамические составляющие реакций опорных подшипников шарниров всего механизма свести к минимуму. Тогда долговечность их работы значительно увеличиться[8].

Этого можно добиться, если основная доля удара на щеку (ударный импульс  $S$ ) будет находиться на расстоянии  $2/3$  от оси привеса подвижной щеки. Это значение получается из теории удара и называется центром удара (точка  $K$ ), а расстояние  $h$  называют приведенной длиной физического маятника (рис.2)

Из теории удара известно, что если удар приложить на расстоянии  $h = \frac{J_{O_2}}{m \cdot a}$ , м, в точке  $K$  – называемой центром удара,

где:  $J_{O_2} = m l^2$  – момент инерции щеки;

$m$ - масса щеки, кг

$a = \frac{l}{2}$  - расстояние от центра тяжести щеки от оси привеса  $O_2$ , м

$G$  – вес щеки (н)

$h$  – приведенная длина физического маятника, м.

Тогда на ось привеса  $O_2$  не будут действовать динамические нагрузки, возникающие вследствие удара, что увеличивает срок службы механизма.



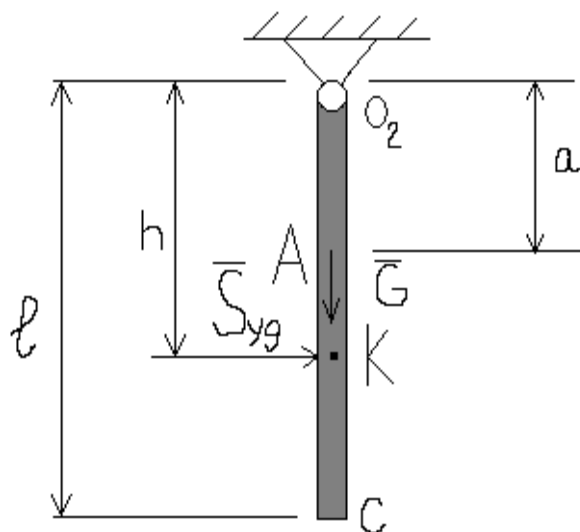


Рис.2 Схема ударной нагрузки на подвижную щеку дробилки

A – центр тяжести щеки, м

K – центр удара

$M = \frac{G}{g}$  - масса щеки,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$

$$h = \frac{G}{M \cdot a} = \frac{G}{\frac{G}{g} \cdot a} = \frac{g}{a} l, \text{ м}$$

т.е. чтобы избежать разрушающего действия ударных нагрузок на узлы механизма необходимо обеспечить основную зону дробления (ударных

нагрузок) на расстоянии  $h = \frac{g}{a} l = O_2C$  м. Это потребует некоторого изменения конструкции зоны загрузки и зависит от конкретных условий производства.

### Выводы и рекомендации.

Повышение эффективности дробления и, следовательно, производительности находится в зависимости от кинетической энергии передаваемой от подвижной (рабочей) щеки к материалу дробления. А энергия зависит в свою очередь от массы щеки и её скорости в момент удара. Следовательно:

Для увеличения кинетической энергии удара щеки необходимо увеличить её массу. Однако это приведет к большим затратам энергии привода дробилки. Поэтому целесообразнее увеличить скорость удара  $V_c$  (рис.1) при той же массе щеки  $O_2C$ . Очевидно, что этот вариант более приемлем, так как увеличить скорость ротора с  $V_D = 20$  м/с до 27 м/с проще. В этом случае, при той же массе подвижной щеки скорость в зоне дробления в соответствии приведенного выше кинематическим анализом составит  $V_c = 2,47$  м/с.

Для снижения динамических нагрузок на шарниры конструкций с целью увеличения срока эксплуатации необходимо, чтобы основная зона удара на подвижную щеку была расположена на расстоянии  $2/3$  от оси привеса подвижной плиты, т.е. в “центре удара”.

В этом случае шарниры подвеса будут испытывать только статические нагрузки и срок их службы заметно увеличиться.

### Литература

1. Строительные машины, Справочник под ред. В. А. Баумана, изд-во «Машиностроение», 1965.
2. Клушанцев Б.В., Щековые дробилки, изд. ЦИНТИмаш, 1962.
3. Кошарский Б.Д., Рабинович Г.А., Красномовец А.В., Ситковский А.Я., Автоматизация обогатительных фабрик, изд-во “Недра”, 1966.
4. Ситковский А.Я., Логак Л.И., Автоматическое регулирование щековых дробилок, «Строительные и дорожные машины», 1966, № 3.
5. А.Я. Ситковский, Г.А. Рабинович Автоматизация дробилок. “Энергия” Выпуск 263. Москва 1968 г.
6. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики, ч.1,2, М.:Наука, 1971 и последующие издания.
7. Бухгольц Н.Н., Основной курс теоретической механики, ч.1, М.: Наука, 1965.

8.Ряшенцев Н.П., Тимошенко Е.М., Фролов А.В. Теория, расчет и конструирование электромагнитных машин ударного действия, Новосибирск: "НАУКА" СО РАН, 1970.

### References

1. Stroitel'nye mashiny, Spravochnik pod red. V. A. Baumana, izd-vo «Mashinostroenie», 1965.
2. Klushancev B.V., Shhekovye drobilki, izd. CINTImash, 1962.
3. Kosharskij B.D., Rabinovich G.A., Krasnomovec A.V., Sitkovskij A.Ja., Avtomatizacija obogatitel'nyh fibrik, izd-vo "Nedra", 1966.
4. Sitkovskij A.Ja., Logak L.I., Avtomaticheskoe regulirovanie shhekovyh drobilok, «Stroitel'nye i dorozhnye mashiny», 1966, № 3.
5. A.Ja. Sitkovskij, G.A. Rabinovich Avtomatizacija drobilok. "Jenergija" Vypusk 263. Moskva 1968 g.
6. Butenin N.V., Lunc Ja.L., Merkin D.R. Kurs teoreticheskoy mehaniki, ch.1,2, M.: Nauka, 1971 i posledujushhie izdanija.
7. Buhgol'c N.N., Osnovnoj kurs teoreticheskoy mehaniki, ch.1, M.: Nauka, 1965.
8. Rjashencev N.P., Timoshenko E.M., Frolov A.V. Teorija, raschet i konstruirovanie jelektromagnitnyh mashin udarnogo dejstvija, Novosibirsk: "NAUKA" SO RAN, 1970.