

УДК 621.73

**А. О. Харитонов**, аспирант, Московский государственный горный университет

E-mail: [kharitonovao89@mail.ru](mailto:kharitonovao89@mail.ru)

## **Слабые горные породы – особенности их измельчения и классификации**

*Установлено, что для измельчения слабых горных пород целесообразно применять способ, основанный на создании в горной массе напряжений «сдвиг-сжатие», а для их классификации использовать принудительное продавливание зерен сквозь ситовые отверстия.*

**Ключевые слова:** слабые горные породы, измельчение, классификация, напряжения, зерна, продавливание зерен.

**A. O. Kharitonov**

## **Weak Rocks – Features Grinding and Classification**

*It is established that for grinding weak rocks, it is expedient to apply the method based on creation in the rock mass stress-shift compression», and for classifying the use of force pushing grains through the sieve apertures.*

**Keywords:** weak rocks, grinding, separation, exertion, grain, punching grains.

К слабым горным породам, согласно проф. Шлаину И. Б. [1], относятся минералы, предел прочности которых на сжатие не превышает 20 МПа ( $\sigma_{сж} < 20$  МПа), а предел прочности на растяжение не превышает 2 МПа ( $\sigma_p < 2$  МПа). К ним относятся слабый известняк, волластонит, гипс, бентонит, тальк, мел, перлит, вермикулит, трепел и др.

Области их применения очень широки, а именно: производство асфальтобетона, бумажная промышленность, резинотехнические изделия, нефтегазовая и химическая промышленности, стекольная промышленность и др.

По способу воздействия на перерабатываемую горную массу все измельчители можно разделить на следующие основные группы: раскалывающего и разламывающего действия; раздавливающего действия; истирающе-раздавливающего действия; ударного действия; ударно-истирающего действия; коллоидные измельчители.

В основу принятой систематизации измельчителей положен главный способ, с помощью которого измельчается материал. При необходимости измельчать тот или иной материал до частиц определенного размера

предварительно выбирают способ измельчения, позволяющий достигнуть необходимого результата, далее подбирается тип и конкретная модель оборудования. С этой точки зрения указанная систематизация измельчителей является наиболее удобной. Основным способом измельчения всегда сопровождается сопутствующими. Например, в раздавливающем или ударном измельчителе происходит и истирание, но оно не является основным способом измельчения, а возникает произвольно и трудно поддается оценке энергетических затрат.

Современные измельчители выпускаются с двигателями мощностью рассчитанной на измельчение материалов средней и высокой прочности. Поэтому, когда измельчаются слабые (малопрочные) породы, двигатель имеет избыточную мощность и общая энергоэффективность процесса измельчения ухудшается.

Особенно энергозатратным является процесс получения тонкодисперсных частиц. В основном измельчение проводится в шаровых мельницах. По данным проф. Сиденко П. М. [2] на измельчение крепких горных пород в шаровых мельницах таких, как, например, корунд, магнезит, апатит, фосфорит тратится от 15 до 50 кВт\*ч/т, а слабых пород, таких как тальк, гипс, перлит и др., от 110 до 125 кВт\*ч/т. Это объясняется тем, что слабые минералы при взаимодействии с мелющими телами, падающими с определенной высоты в шаровых мельницах поглощают удар. Кроме того, процесс измельчения сопровождается достаточно интенсивным налипанием слабых минералов на шаровую поверхность мелющих тел, что так же снижает динамику и эффективность процесса измельчения.

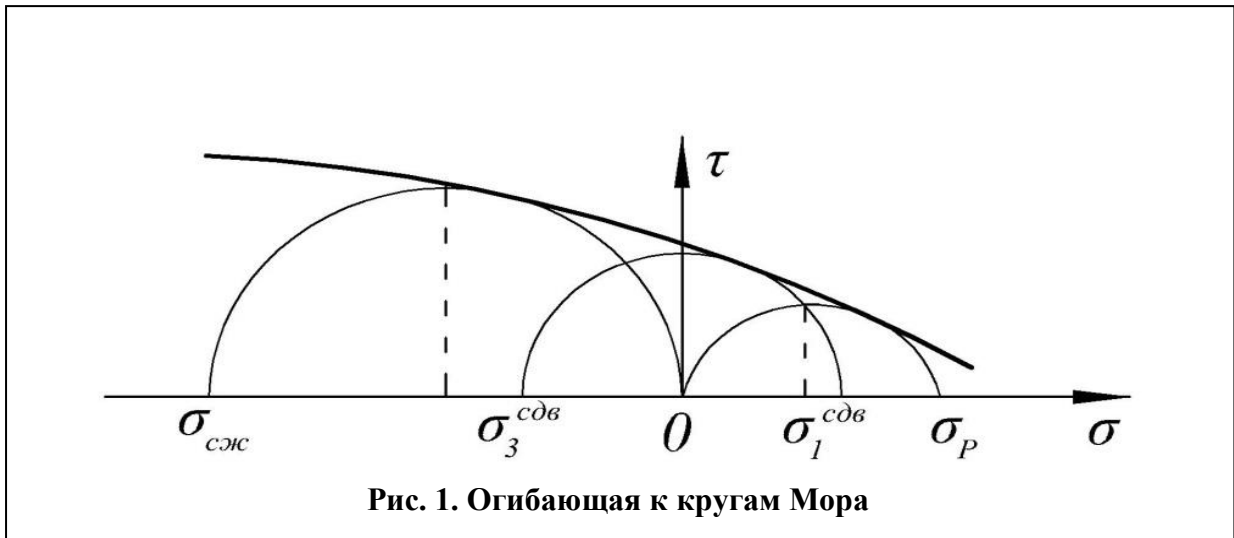
Применение более эффективных для измельчения этих материалов вибромельниц ограничивается их невысокой производительностью (от 5 до 15 т/час), при этом преобладающим видом разрушения минералов является процесс истирания. Учитывая сказанное, касаясь прочностных характеристик слабых горных пород видно, что в измельчительных установках наиболее целесообразным является использование принципа разрушения за счет растяжения, то есть, когда рабочие поверхности измельчителя совершают движения, приводящие к напряжению «сдвиг-сжатие» в куске горной массы. В этом случае, благодаря одновременной работе касательных (тангенциальных) и нормальных сил, процесс измельчения становится более эффективным.

Для описания процесса разрушения наиболее применима теория прочности Мора. В отличие от других классических, эта теория учитывает как разные значения сопротивления разрушению при одноосном растяжении и сжатии, так и то, что разрушение или состояние пластичности зависит от нормальных напряжений. Эта теория прочности широко применяется в горном деле и механике грунтов. Характеристикой твердого тела, согласно теории прочности Мора, является зависимость:

$$\tau_{\Pi} = f(\sigma_{\text{ср}}), \quad (1)$$

где  $\tau_{\Pi}$  – предельное значение касательных напряжений,  $\sigma_{\text{ср}}$  – среднее напряжение.

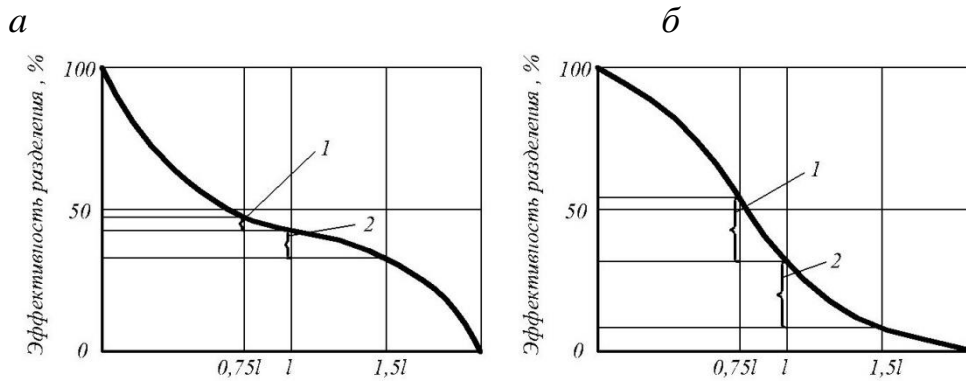
Огибающая к кругам Мора, построенная по результатам испытаний (рис. 1), является графическим видом зависимости (1).



Учитывая отрицательный эффект от наличия в массе измельчаемого материала частиц, которые в силу своего размера не нуждаются в разрушении и присутствие которых снижает эффективность процесса измельчения, необходимо предусмотреть в конструкции измельчителя возможность непрерывного удаления в процессе классификации этих частиц.

Традиционно разделение слабых горных пород осуществляется в большинстве случаев на вибрационных грохотах. Недостатком данного метода является то, что эффективность разделения зависит от собственного веса материала и вибрационного воздействия со стороны ситовой поверхности. В этом случае при разделении материала, находящегося в тонкодисперсном состоянии, эффективность просеивания существенно снижается из-за малой массы классифицируемых зерен и залипания отверстий в сите.

Отличительной чертой слабых горных пород является наличие большого количества трудных зерен, размер которых превышает три четверти отверстия сита. Такие зерна с трудом проходят в промежутках между крупными зернами и через отверстия сита. Эта трудность прохождения прогрессивно возрастает по мере приближения диаметра зерен к величине отверстий сита, как показано на рис. 2.



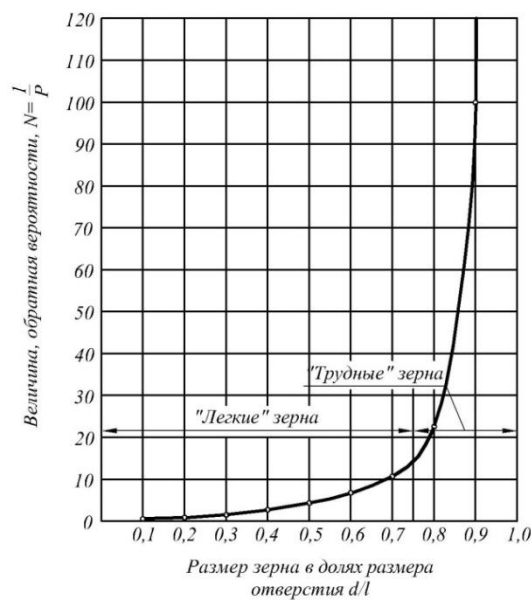
**Рис. 2. Характеристика крупности разделяемых зерен минералов:**  
*a* – легкогροхотимого материала; *б* – трудногροхотимого материала;  
 1 – выход «трудных» зерен; 2 – выход «затрудняющих» зерен

Вероятность прохождения зерна  $p$  через отверстия сита определяется по формуле:

$$p = \frac{(l-d)^2}{l^2} = \left(1 - \frac{d}{l}\right)^2, \quad (2)$$

где:  $l$  – размер квадратного отверстия сита;  
 $d$  – диаметр зерен.

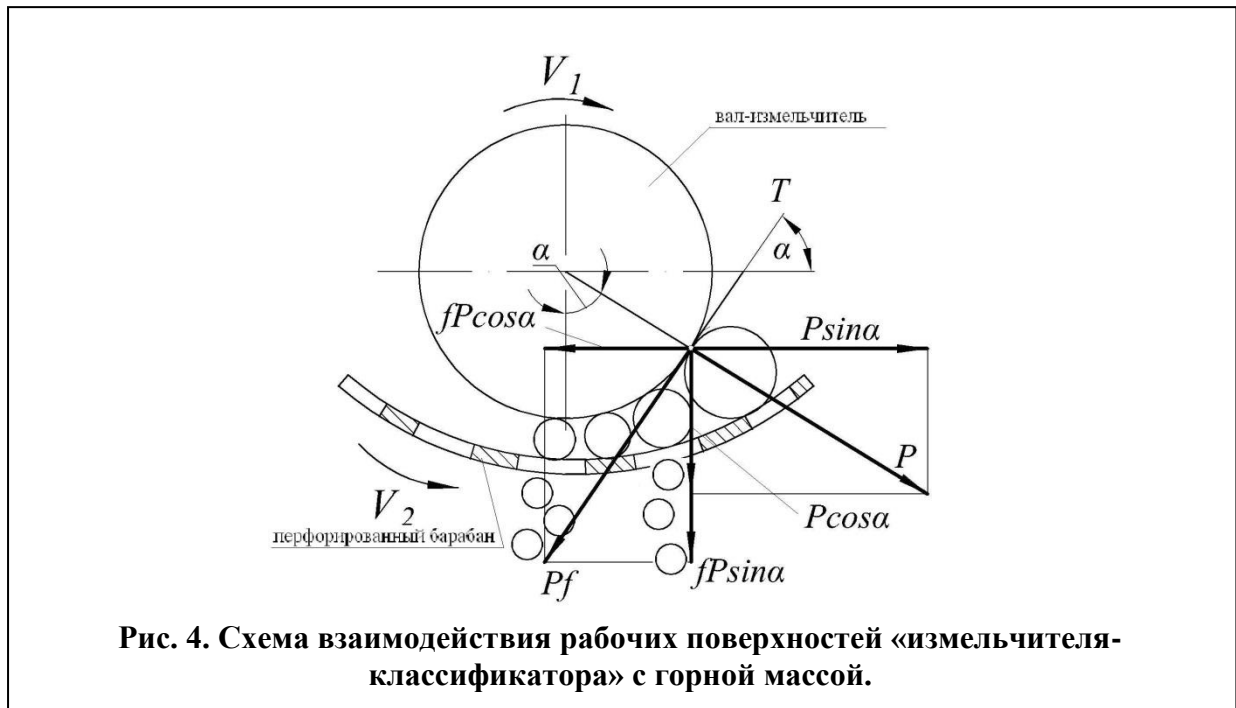
Используя формулу (2) можно построить графическую зависимость вероятности прохождения зерен через сито в зависимости от их относительного размера  $d/l$ .



**Рис. 3. Вероятность прохождения зерен через сито в зависимости от их относительного размера**

Необходимо отметить, что сказанное выше относится к разделению сухих материалов или имеющих влажность не более 6-8%. Особенно сильно влияет влажность при грохочении материала на ситах с мелкими отверстиями. Мелкие классы имеют наибольшую поверхностную влажность вследствие большой удельной поверхности. Поверхностная влага вызывает слипание мелких частиц между собой, налипание их на крупные куски и замазывание отверстий сит. Кроме того, вода смачивает поверхность сита и под действием поверхностного натяжения может образовывать пленки, затягивающие отверстия.

Таким образом, гравитационно-вибрационный процесс разделения тонкодисперстных материалов является малоэффективным. Для улучшения процесса разделения, особенно в случаях, когда закрупление материалов в подрешетном продукте не имеет значение, а определяющим фактором является производительность, можно воспользоваться схемой процесса, показанного на рис. 4.



**Рис. 4. Схема взаимодействия рабочих поверхностей «измельчителя-классификатора» с горной массой.**

В соответствии с составленной принципиальной схемой измельчителя-классификатора, данный агрегат работающий в замкнутом цикле осуществляет одновременно разрушение зерен с помощью вала-измельчителя, размер которых превышает размер перфорации (отверстия) в барабане и продавливает через них зерна, неспособные к свободному грохочению.

Поэтому разработка и исследование принципиально новой конструкции оборудования в виде измельчительно-классификационного агрегата является актуальной задачей, а его применение для переработки слабых горных пород позволит повысить эффективность процессов

измельчения и классификации при пониженных энергетических затратах, особенно при получении тонкодисперсного продукта.

#### **Список литературы**

1. **Шлаин И. Б.** Разработка месторождений нерудного сырья. – М.: Недра. –1985. – С. 81.
2. **Сиденко П. М.** Измельчение в химической промышленности. – М., Химия. – 1977. – С. 196.