

**ПОМОЛЬНО-КЛАССИФИЦИРУЮЩИЕ МЕЛЬНИЦЫ ДЕЗИНТЕГРАТОРНОГО ТИПА**

Condition and problems of reception of disperse materials in article are considered. The analysis of the existing crushing equipment is given and the most perspective ways of its development which are based following principles are proved: a continuity of action; shock influence; constant removal of particles of the processed material from a zone of crushing. New designs of devices dezintegrators, combining besides crushing classification of a processable material that allows to lower power inputs on 20–30% in comparison with installations with remote qualifiers are offered. Installations of this type are characterized by high power influence of working bodies on a processable material at rather small power inputs in comparison with traditionally used equipment. The opportunity of reception of powders of the set disperse structure, reception of aerodispersions, crushing concern to their technological advantages in vacuum and various gas environments, compactness and simplicity of service.

**Введение.** Механическое разрушение материалов представляет собой сложный процесс комбинаций различных одновременно протекающих явлений. Ему сопутствуют тепловые, химические, электрические явления и структурные преобразования материала. Количество энергии, необходимое для измельчения какого-либо материала, зависит от многих факторов: размера, формы, прочности, однородности исходного материала, его влажности, вида и состояния рабочих поверхностей машины и т. д.

Процесс измельчения является весьма энергоемким. Ежегодно на измельчение затрачивается около 5–10% производимой в мире электроэнергии. В частности, в горнорудной промышленности на измельчение расходуется около 40% от всей используемой энергии, в комбикормовой – до 70%, в мукомольной – около 50%. Мощность привода мельниц в горнорудной промышленности и в цементном производстве может достигать 12 000 кВт [1, 2–5]. Причем с увеличением тонины помола удельный расход электроэнергии резко возрастает. При крупном, среднем и мелком дроблении, когда степень измельчения составляет  $i = 3–4$ , расход энергии колеблется от 0,4 до 1 кВт·ч/т, при тонком помоле и диспергировании расход энергии достигает 30–50 кВт·ч/т, а иногда и больше.

Довольно часто высокий удельный расход энергии при тонком измельчении объясняют только изменением прочности. Чем меньше частицы, тем меньше в материале внутренних дефектов, тем они прочнее, и, следовательно, на их измельчение требуются большие затраты энергии. Это объяснение справедливо, но далеко не исчерпывающее. При помоле некоторое количество частиц, достигнув требуемого размера и оставаясь в общей массе материала, воспринимают на себя часть воздействующих усилий, гасят их, переизмельчаются и резко тормозят течение процесса в нужном направлении [2]. Причем если полезной считать только ту работу, которая затрачена на образование

поверхности, то в традиционных измельчительных агрегатах большая часть подводимой механической энергии превращается в тепловую, рассеиваясь бесполезно. КПД измельчающих машин по такому расчету составляет от долей процента до, в лучшем случае, нескольких процентов. Исследования на калориметрических мельницах показали, что часть механической энергии запасается измельчаемыми твердыми телами. Общая аккумулированная энергия зависит от условий измельчения: интенсивности подвода энергии, свойств вещества, длительности обработки и т. д., однако и в самых оптимальных условиях она не превышает 25–30% от подведенной энергии. Если подсчитать энергию, затрачиваемую на образование новых поверхностей, и сравнить ее с реальной, затрачиваемой в мельнице, то потери могут составлять более 99% [6]. Поэтому снижение потерь энергии является основной задачей при исследовании процесса измельчения и конструировании современных измельчающих машин.

**Состояние и перспективы помольного оборудования.** В настоящее время известно большое количество различных конструкций машин для измельчения материалов. Они в основном определяются способом измельчения. В свою очередь способ измельчения выбирается в зависимости от физико-механических свойств измельчаемого материала и крупности его частиц. Для хрупких материалов, как правило, используют машины, в которых преобладают раздавливающие и ударные воздействия, для мягких – истирание, для волокнистых материалов эффективны разрывающие усилия и т. д. Соответственно применяемые для этих целей аппараты отличаются видом механического воздействия на вещество: в одном случае это может быть раздавливание, в других – удар, раскалывание, истирание и т. д. В современных измельчителях обычно сочетаются два или более видов таких воздействий.

Эффективное измельчение твердого тела, а в особенности получение тонкодисперсных ма-

териалов и порошков, требует больших плотностей энергии в рабочем пространстве измельчителя, которые характеризуются мощностью, приходящейся на единицу рабочего объема мельницы. Причем с увеличением удельной поверхности материала  $S_{уд}$  свыше 3000 см<sup>2</sup>/г при измельчении в обычных традиционных помольных системах «сухим» способом резко снижается производительность мельниц, а рост удельных энергозатрат пропорционален  $S_{уд}$  в степени 1,5–2 [7].

Поэтому поиск новых более совершенных конструкций машин продолжается по следующим направлениям:

- снижение расхода энергии и металла на единицу измельчаемого материала;
- создание мельниц тонкого измельчения материалов с размером частиц несколько микронов или долей микрона, т. к. потребность в тонко измельченных материалах все более возрастает;
- создание мельниц, обеспечивающих высокую чистоту продуктов измельчения.

Работы по увеличению тонкости помола базируются на применении более эффективных методов и механизмов, обладающих высокой производительностью, энергонапряженностью и интенсивным воздействием на обрабатываемую среду. Проводились попытки создать принципиально новые устройства, использующие различные способы и методы измельчения – турбулентный, ультразвуковой, электрогидравлический, электрохимический, а также их сочетание [8–15]. Но на сегодняшний день они в основном находятся на стадии лабораторных исследований и не получили широкого промышленного распространения.

Поэтому создание новых энергосберегающих конструкций измельчителей базируется на следующих основных принципах:

- непрерывность действия;
- ударное нагружение;
- постоянное удаление частиц обработанного материала из зоны измельчения желательна с одновременной классификацией готового продукта и возвратом крупных частиц на дообработку.

Этим требованиям в полной мере отвечают машины дезинтеграторного типа (дисмембраторы и дезинтеграторы), что свидетельствует об их несомненной перспективности для осуществления процессов тонкого и сверхтонкого измельчения.

**Установки дезинтеграторного типа.** Дезинтегратор – мельница ударно-центробежного действия, состоящая из двух роторов, вращающихся в противоположных направлениях. Принцип его действия заключается в следующем. Материал поступает из загрузочного устройства в пространство между вращающимися навстречу друг другу с высокими скоростями

роторами (частота их вращения может достигать до 50 000 мин<sup>-1</sup> и более). На этих роторах имеются специальные твердосплавные пальцы или лопасти, образующие относительно друг друга концентрические окружности разных диаметров. Частица сначала сталкивается с одним из пальцев первого (внутреннего) ряда и разрушается при столкновении на несколько частей. Получившиеся осколки отбрасываются по касательной к окружности вращения этого ряда пальцев и сталкиваются с пальцами второго ряда. После вторичного разрушения осколки отбрасываются в зону вращения третьего ряда пальцев, где вновь разрушаются. Каждая частица последовательно проходит все круги измельчающих элементов, причем перед выходом с последнего из них, имеющего максимальную линейную скорость, частицы испытывают наиболее высокоэнергетическое воздействие. Устройство и принцип работы дисмембратора схожи с дезинтегратором. Различие в том, что из его двух роторов один неподвижен.

В зависимости от производительности  $Q$  и скорости ударного воздействия на частицу  $U_{уд}$  дезинтеграторные установки условно делятся на три класса [12]:

- лабораторные ( $Q \leq 1$  т/ч,  $U_{уд \max}$  до 450 м/с);
- полупромышленные ( $Q \leq 3$  т/ч,  $U_{уд \max}$  до 300 м/с);
- промышленные ( $Q \leq 80$  т/ч,  $U_{уд \max}$  до 220 м/с).

Установки этого типа находят применение в самых различных отраслях промышленности вследствие их компактности, относительно небольшой энергоемкости по сравнению с традиционно используемыми измельчителями, простоты в обслуживании, но главным образом из-за многократности числа ударных воздействий на частицу материала при высокой энергонапряженности взаимодействия с рабочими органами.

К их технологическим преимуществам следует также отнести возможность селективного измельчения руд, получения порошков заданного дисперсного состава (за счет варьирования режимов обработки возможно получение узкого или широкого гранулометрического распределения частиц по размерам, ограниченного содержания определенных крупных или мелких фракций), возможность «распушки» волокнистых материалов, получения аэродисперсий, измельчения в вакууме и различных газовых средах.

В некоторых технологиях можно использовать создаваемый роторами дезинтегратора воздушный поток (для сепарации и охлаждения порошков, транспортировки материалов, удаления из веществ легколетучих компонентов и влаги), а так же электризацию компонентов

(для последующей сепарации порошков, нанесения порошковых покрытий), увеличение насыпной массы сыпучих материалов за счет создания более близкой к правильным многогранникам формы частиц и т. п.

**Помольно-классифицирующие дисмембраторы.** Как показывает анализ последней информации о состоянии дезинтеграторной техники, а также многочисленные проведенные нами экспериментальные и теоретические исследования [15, 16], при получении тонкодисперсных порошков путем однократной обработки материала в аппаратах дезинтеграторного типа не всегда возможно получить необходимую степень измельчения. Поэтому эти машины работают, как правило, в совокупности с классификаторами. Причем наиболее эффективной является схема работы по замкнутому циклу с непрерывным удалением готового продукта.

Одним из наиболее перспективных направлений разработки этих машин на сегодняшний день является совмещение процессов измельчения с классификацией обрабатываемого материала непосредственно в рабочей зоне помольного аппарата за счет использования воздушных потоков, образующихся при движении рабочих органов. Подобное решение позволяет уменьшить размеры и материалоемкость помольных агрегатов, повысить эффективность обработки материала за счет сокращения времени его оборота по замкнутому циклу, а также упростить техническое обслуживание помольного комплекса.

В частности, нами предложено несколько конструкций аппаратов дезинтеграторного типа, защищенных патентами Республики Беларусь [17, 18], совмещающих в себе измельчение и классификацию обрабатываемого материала.

Устройство, представленное на рис. 1, включает корпус 1 с размещенными в нем ротором 2 и статором 3 с размольными элементами в виде лопастей 4 на роторе и пальцев 5 на статоре.

Устройство для выгрузки материала 7 выполнено в виде криволинейного патрубка 9, размещенного в зазоре 10 между статором 3 и корпусом 1 и соединенного с загрузочным лотком 6 через окно 13, а со статором 3 – через боковое отверстие 8. Криволинейный патрубок 9 на вогнутой поверхности снабжен продольным отверстием 11, перекрытым поворотными жалюзи 12.

Материал через загрузочный лоток 6 попадает в рабочую зону дисмембратора под ударное воздействие внутреннего концентрического ряда лопастей 4 ротора 2 и пальцев 5 статора 3, где происходит его первоначальное измельчение. Затем под действием сил тяжести, центро-

бежной силы и силы аэродинамического воздействия частицы проходят между зазорами пальцев 5 статора 3 и поступают на следующую ступень измельчения. При этом материал, проходя от центра дисмембратора к периферии, подвергается интенсивному нагружению, которое постепенно возрастает за счет увеличения скорости движения лопастей 4 ротора 2 и уменьшения зазоров между пальцами 5 статора 3 на каждой последующей ступени измельчения.

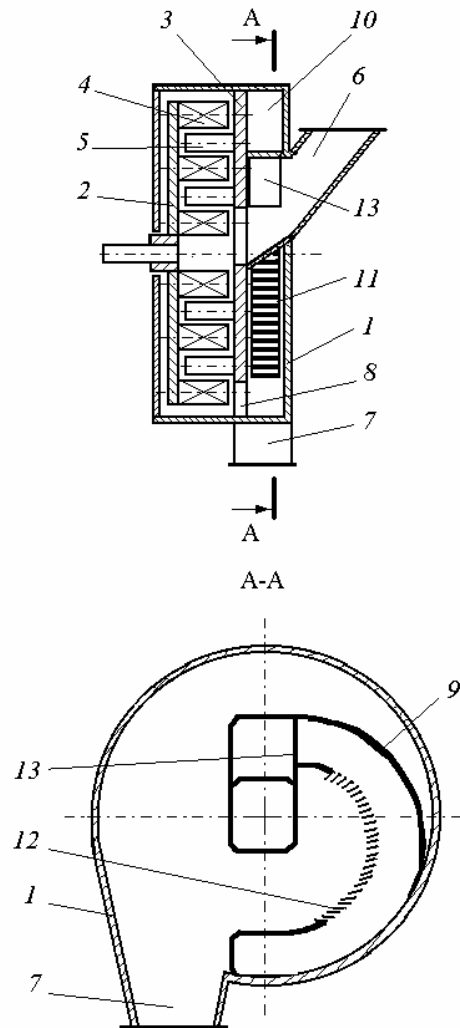


Рис. 1. Дисмембратор со встроенным классификатором:

- 1 – корпус; 2 – ротор; 3 – статор; 4 – лопасти;
- 5 – пальцы; 6 – загрузочная воронка;
- 7 – выгрузочное устройство; 8 – боковое отверстие;
- 9 – криволинейный патрубок; 10 – боковой зазор;
- 11 – отверстия; 12 – поворотные жалюзи; 13 – окно

С последней (периферийной) ступени измельченный материал совместно с воздушным потоком через боковое отверстие 8 в статоре 3 попадает в выгрузочное устройство 7, где при его движении по криволинейному патрубку 9 под действием центробежной си-

лы происходит классификация частиц. Частицы большего размера, движущиеся по внешнему радиусу криволинейного патрубка 9, через окно 13 попадают в загрузочный лоток 6 и возвращаются на дообработку, в то время как более мелкие частицы, движущиеся по внутреннему радиусу криволинейного патрубка 9, проходя через продольное отверстие 11, перекрытое поворотными жалюзи, удаляются из дисмембратора.

За счет изменения угла установки пластин жалюзи 12 происходит регулирование фракционного состава готового продукта и обеспечивается гарантированное получение измельченного материала с заданными характеристиками.

Конструкция дисмембратора с классифицирующей камерой показана на рис. 2.

Дисмембратор с классифицирующей камерой (рис. 2) включает установленные в корпусе 2 ротор 1 и торцевую стенку 7 с измельчающими элементами в виде пальцев 3 и 5, а также крыльчаток 4 на наружном концентрическом ряду ротора 1. В центре и в верхней части стенки 7 выполнены отверстия 8 и 11, закрытые эксцентрично установленной снаружи обечайкой с крышкой 6. Загрузочный патрубок 12 в крышке 6 входит в центральное отверстие с образованием кольцевого зазора 11 между ним и торцевой стенкой, а патрубок для выгрузки 10 закреплен по центру крышки 6.

Материал через загрузочный патрубок 12 попадает в рабочую зону дисмембратора под ударное воздействие концентрических рядов пальцев 3 и 5 ротора 1 и стенки 7, где происходит его измельчение. При этом материал, проходя от центра дисмембратора к периферии, подвергается интенсивному нагружению, которое постепенно возрастает за счет увеличения скорости движения пальцев 3 ротора 1 и уменьшения зазоров между пальцами 5 торцевой стенки 7 на каждой последующей ступени измельчения. С наружного ряда лопастей 4 измельченный материал совместно с воздушным потоком через боковое отверстие 8 попадает в классифицирующую камеру 9, где под действием центробежной силы происходит его разделение. Частицы большего размера, движущиеся по внешнему радиусу камеры 9, через окно 11 возвращаются на домол в рабочую зону, в то время как более мелкие частицы, движущиеся по внутреннему радиусу камеры 9, удаляются из дисмембратора через выгрузочный патрубок 10.

Встроенный классификатор позволяет проводить сепарацию измельчаемого продукта на стадии помола, вследствие чего отпадает необходимость в установке дополнительного классифицирующего оборудования после измельчителя.

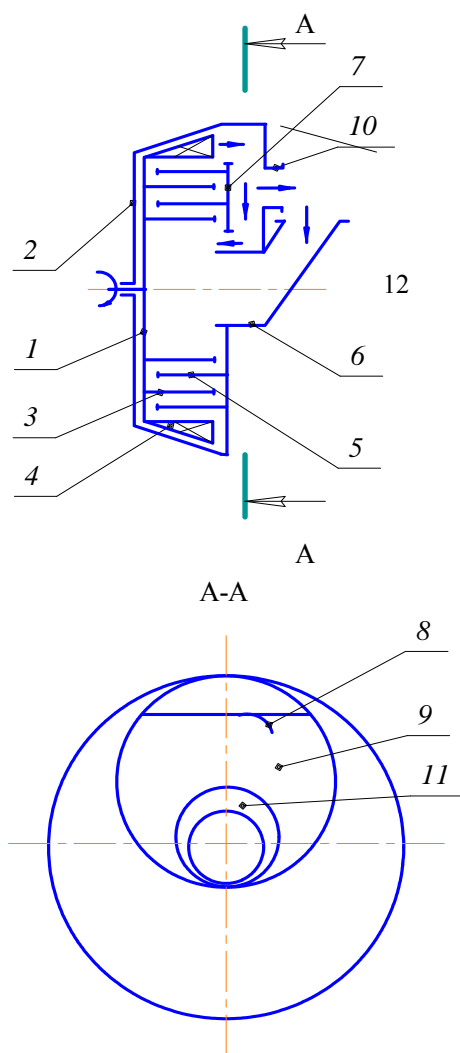


Рис. 2. Дисмембратор с классифицирующей камерой: 1 – ротор; 2 – корпус; 3, 5 – измельчающие элементы; 4 – крыльчатка; 6 – крышка; 7 – стенка; 8, 11 – отверстия; 9 – классифицирующая камера; 10 – выгрузочный патрубок; 12 – загрузочный патрубок

**Заключение.** Помольно-классифицирующие установки дезинтеграторного типа находятся на стадии лабораторных исследований и пока еще рано говорить об их широком промышленном внедрении [16]. Однако полученные результаты позволяют прогнозировать их несомненную перспективность вследствие компактности, высокой энергонапряженности в помольной камере, простоты регулирования параметров измельчения, а следовательно – возможности гарантированного получения дисперсных материалов необходимой крупности.

Использование подобных устройств позволит снизить энергозатраты на классификацию измельченного материала на 20–30% по сравнению с помольными установками с выносными классификаторами.

## Литература

1. Ходаков, Г. С. Физика измельчения / Г. С. Ходаков. – М.: Наука, 1972. – 307 с.
2. Сиденко, П. М. Измельчение в химической промышленности / П. М. Сиденко. – М.: Химия, 1977. – 368 с.
3. Ревнивцев, А. М. Селективное разрушение материалов / А. М. Ревнивцев. – М.: Недра, 1988. – 286 с.
4. Оспанов, А. А. Основы эффективного измельчения и механики разрушения / А. А. Оспанов, Ш. К. Тлеганов. – Алматы, 2000. – 107 с.
5. Дуда, В. Цемент / В. Дуда. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
6. Аввакумов, Е. Г. Механические методы активации химических процессов / Е. Г. Аввакумов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 305 с.
7. Мурог, В. Ю. Определение энергозатрат на домол цемента в дисмембраторе / В. Ю. Мурог, П. Е. Вайтехович, О. А. Петров // Строительные материалы. – 2007. – № 11. – С. 40–42.
8. Шуляк, В. А. Классификация способов разрушения и диспергирования твердых тел и дисперсных сред / В. А. Шуляк, Л. А. Сиваченко // Технологические проблемы измельчения и механоактивации: материалы науч.-техн. семинара стран Содружества, Могилев, 21–23 окт. 1992 г. / Могилевский гос. техн. ун-т; редкол.: С. И. Сазонов (отв. ред.) [и др.]. – Могилев, 1993. – С. 260–269.
9. Овчинников, П. Ф. О выборе оборудования для тонкого измельчения. Разработка теории и конструктивного оформления машин и аппаратов интенсивных действий с участием зернистых материалов / П. Ф. Овчинников. – Иваново, 1984. – С. 3–8.
10. Современное помольное оборудование: Промышленность нерудных и неметаллорудных материалов: сб. науч. ст. / Науч.-исслед. ин-т информ. и техн.-эконом. исслед. пром. нерудных материалов; редкол.: И. П. Сивин (отв. ред.) [и др.]. – М.: Химия, 1990. – 62 с.
11. Бауман, В. А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В. А. Бауман, Б. В. Клушанцев, В. Д. Мартынов. – М.: Машиностроение, 1981. – 324 с.
12. УДА-технология: материалы II Международ. семинара, Таллин, 6–8 сент. 1983 г. / СКТБ «Дезинтегратор»; редкол.: А. В. Пинивин (отв. ред.) [и др.]. – Таллин, 1983. – 116 с.
13. Шенгур, Г. В. Активация цемента электрогидравлическим способом / Г. В. Шенгур // Строительные материалы. – 1968. – № 2. – С. 13–15.
14. Гуюмджян, П. П. Интенсификация процессов тонкого измельчения, механической активации твердых материалов с разработкой высокоэффективных машин и технологий для переработки отходов промышленности: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.16 / П. П. Гуюмджян. – Иваново, 1989. – 42 с.
15. Левданский, А. Э. Исследование ударно-центробежного измельчения материалов / А. Э. Левданский // Инж.-физ. журн. – 2004. – Т. 77, № 5. – С. 46–51.
16. Мурог, В. Ю. Моделирование процессов диспергирования и механической активации в аппаратах дезинтеграторного типа: дис. ... канд. техн. наук: 28.05.05 / В. Ю. Мурог. – Минск, 2005. – 156 с.
17. Дисмембратор со встроенным классификатором: пат. 7952 Респ. Беларусь, МПК В 02 С 13/22 / В. Ю. Мурог, П. Е. Вайтехович, Ю. М. Костюнин; заявитель Бел. гос. технол. ун-т. – № а 20030154; заявл. 24.02.03; опубл. 30.09.04 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 1. – С. 114.
18. Дисмембратор с классифицирующей камерой: пат. 9517 Респ. Беларусь, МПК В 02 С 13/00 / П. Е. Вайтехович, В. Ю. Мурог; заявитель Бел. гос. технол. ун-т. – № а 20040900; заявл. 29.09.04; опубл. 30.04.06 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 2. – С. 28.