

УДК 621.926

**ВЛИЯНИЕ АМПЛИТУДНЫХ И ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБРОВАЛКОВОГО АГРЕГАТА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СИЛЬВИНИТА**

**Сотник Л. Л., Дремук В. А., Винничек К. С.**

Барановичский государственный университет,  
Барановичи, Республика Беларусь

**Введение.** Внедрение вибротехники в промышленности осуществляется достаточно высокими темпами, так как существующие средства механизации оказались неконкурентоспособными с новой вибрационной техникой [1, 2].

В вибрационных машинах параллельно идут процессы деформирования при знакопеременном или пульсационном нагружении и перемещения в условиях периодических силовых воздействий [1].

Большое значение имеет равномерное распределение материала по ширине рабочих органов. В связи с наличием различных по величине и форме кусков материала объем рабочего пространства в валковых агрегатах используется не в полной мере. При создании вибрационного воздействия материал занимает рабочее пространство более равномерно, повышая тем самым производительность агрегата.

Вибрация разрушает или ослабляет связи в дисперсных средах: под воздействием вибраций различной интенсивности дисперсные среды переходят в состояние псевдооживления и так называемого виброоживления. При воздействии вибрации легче преодолеваются силы сухого и вязкого трения, снижаются предел пластического деформирования и вязкость [1].

При динамическом нагружении материала возникающие в нем напряжения вдвое больше, чем при статическом [3]. При ударе сила сжатия возникает в определенном сечении так быстро, что трещина образуется до того, как в частице материала устанавливается равновесное распределение энергии, результатом

чего является уменьшение количества энергии, необходимое для осуществления разрыва [4].

Исследования в области дробления материала показывают, что оценку эффективности процесса дробления можно вести по различным отдельным силовым и энергетическим характеристикам [1]. При циклическом воздействии сжимающей нагрузки разрушающие напряжения снижаются примерно в 1,5 раза.

Таким образом, используя реологические свойства измельчения пород и подбирая для них режимы циклического (вибрационного) нагружения, можно обеспечить накопление разрушений, снизить уровень разрушающих нагрузок и повысить эффективность процесса разрушения.

**Основная часть.** Результаты теоретических исследований и поисковых экспериментов по изучению закономерностей процесса измельчения материалов в вибровалковом измельчителе свидетельствуют о целесообразности реализации в нем раздавливающе-сдвигового и вибрационного деформирования [5]. Такой вид воздействия возможно осуществить за счет установки одного из валков на эксцентриковом валу с эксцентриситетом  $e$  и приданием ему определенной угловой скорости [5]. Дополнительное сдвиговое воздействие можно осуществить, придав валкам разную угловую скорость. Данные факторы оказывают влияние на выходные показатели процесса измельчения сильвинита [5].

Экспериментальные исследования проводились на опытном образце вибровалкового измельчителя (КД ВВИА.613242.001) (рисунок 1).



Рисунок 1 — Вибровалковый измельчитель

С целью поиска оптимальных параметров процесса измельчения материала проведены экспериментальные исследования влияния раздавливающе-сдвигового и вибрационного деформирования на выходные показатели:

$$Q_{\text{пр}}, N, q = f(n_{\text{эк}}, e), \quad (1)$$

где  $n_{\text{эк}}$  — частота эксцентрикового вала, об / мин;

$e$  — эксцентриситет (амплитуда), мм.

Удельный расход электроэнергии на измельчение минерального сырья с различной структурой определяется:

$$q = f(Q_{\text{пр}}, N), \quad q = \frac{N}{Q_{\text{пр}}} \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т}} \quad (2)$$

В качестве исследуемого материала был принят сильвинит. Физико-механические характеристики сильвинита представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Физико-механические характеристики сильвинита

Материал	Плотность $\rho_0$ , кг / м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии $\sigma_{\text{сж}}$ , МПа	Коэффициент анизотропии $k_{\text{ан}}$	Твердость по шкале Мооса
Сильвинит	1700...2100	50...80	1,2	2

Фракционный состав сильвинита представлен в таблице 2.

Таблица 2 — Фракционный состав сильвинита

Материал	Весовое содержание фракций в %, при размере зерен (мм)				
	3...5	5...7	7...10	10...15	15...25
Сильвинит	4	19	22	37	18

После проведенных экспериментов и обработки их результатов на ПЭВМ были получены следующие уравнения регрессии [5]:

$$Q_{\text{пр}} = 4,64 \cdot 10^{-4} n_{\text{ЭК}} - 1 \cdot 10^{-7} n_{\text{ЭК}}^2 + 0,064e - 0,425; \quad (3)$$

$$N = 5397 - 1,91n_{\text{ЭК}} - 237e + 0,228n_{\text{ЭК}}e + 5,44 \cdot 10^{-4} n_{\text{ЭК}}^2 + 46e^2. \quad (4)$$

**Анализ влияния частоты вращения эксцентрикового вала на процесс измельчения.** Ранее проведенные теоретические и поисковые исследования [5] позволили установить, что на величину выходных параметров процесса измельчения материалов с различными физико-механическими характеристиками и структурой существенное влияние оказывает частота вращения эксцентрикового вала, создающая вибрационное воздействие на материал.

Вибрационное деформирование частиц осуществляется за счет эксцентрикового вала, вращающегося с различной частотой вращения  $n_{\text{ЭК}}$ . На рисунке 2 показано влияние частоты вращения эксцентрикового вала на производительность и энергоемкость процесса измельчения.

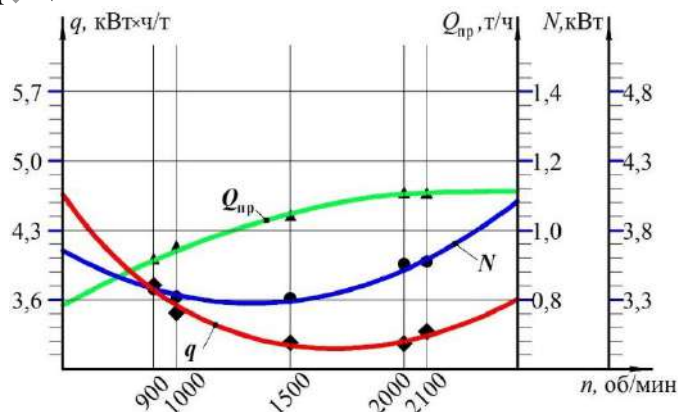


Рисунок 2 — Влияния частоты вращения эксцентрикового вала на процесс измельчения

Как видно из графической зависимости (рисунок 2) варьирование частотой вращения эксцентрикового вала  $n_{ЭК}$  меняет качественные и количественные параметры процесса измельчения.

Так при увеличении  $n_{ЭК}$  с нижнего ( $n_{ЭК} = 1000$  об / мин) уровня варьирования до верхнего ( $n_{ЭК} = 2000$  об / мин) происходит изменение выходных параметров процесса [5]: приведенная производительность возрастает на 17,4 %; потребляемая мощность привода возрастает на 5,3 %. Это приводит к уменьшению удельного расхода электроэнергии, затрачиваемой на осуществление процесса измельчения на 10,3 %.

Таким образом, изменение частота вращения эксцентрикового вала  $n_{ЭК}$  позволяет создать вибрационное воздействие на измельчаемый материал и тем самым повысить эффективность их измельчения [5].

**Анализ влияния величины эксцентриситета на процесс измельчения.** Проведенные теоретические исследования и поисковые эксперименты показали, что величина эксцентриситета при создании вибраций в вибровалковом измельчителе является амплитудой процесса. На рисунке 3 показано влияние амплитуды колебаний на процесс измельчения.

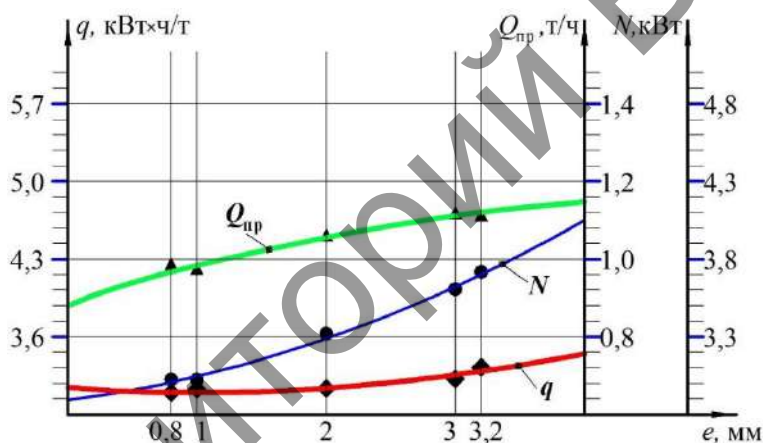


Рисунок 3 — Влияния амплитуды колебаний на процесс измельчения

Как видно из графической зависимости, варьирование величиной эксцентриситета  $e$  изменяет качественные и количественные параметры процесса измельчения.

Так при увеличении величины эксцентриситета  $e$  с нижнего ( $e = 1$  мм) уровня варьирования до верхнего ( $e = 3$  мм) происходит изменение качественных и количественных параметров процесса: приведенная производительность возрастает на 13 %.

Создание сдвигового деформирования приводит к совершению большей работы, на что указывает рост потребляемой мощности привода на 19 %. Это приводит к увеличению удельного расхода электроэнергии, затрачиваемой на осуществление процесса измельчения на 5,3 %.

Таким образом, можно сделать следующий вывод, что применение вибровалкового измельчителя позволяет реализовать объемно-сдвиговое деформирова-

ние измельчаемых материалов. Изменение величины эксцентриситета в диапазоне от 1 до 3 мм приводит к повышению эффективности измельчения материалов за счет увеличения объемно-сдвигового деформирования их частиц [5].

**Заключение.** Проведенные экспериментальные исследования по изучению процессов измельчения сильвинита в вибровалковом измельчителе подтвердили теоретически полученные результаты и свидетельствуют о целесообразности реализации раздавливающе-сдвигового и вибрационного деформирования сильвинита.

Согласно уравнениям регрессии, с увеличением частоты вращения эксцентрикового вала, производительность процесса измельчения возрастает на 15...25 %, при этом энергоемкость процесса снижается до 12 %.

Величина эксцентриситета увеличивает производительность процесса измельчения 10...18 %, при этом энергоемкость процесса возрастает на 5...10 %.

Наиболее оптимально процесс измельчения происходит при величине эксцентриситета равном  $e = (2...3) \cdot 10^{-3}$  м, на что указывает минимальное значение удельной энергозатраты, выраженное экстремумом функции и равное  $q = 3,1$  кВт · ч / т.

Построенные по полученным уравнениям регрессии графические зависимости адекватно отражают процессы измельчения в вибровалковом измельчителе и подтверждают проведенный ранее теоретический анализ и поисковые эксперименты.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гончаревич, И. Ф. Вибротехника в горном производстве / И. Ф. Гончаревич. – М. : Недра, 1992. – 319 с.
2. Богданов, В. С. Процессы в производстве строительных материалов / В. С. Богданов, А. С. Ильин, И. А. Семикопенко. – Белгород : Вевелита, 2007. – 512 с.
3. Гутьяр, Е. М. К объемной теории дробления / Е. М. Гутьяр // Изв. Моск. с.-х. акад. им. Тимирязева. – 1961. – Вып. 4. – С. 163–166.
4. Kraus, W. Grinding technique / W. Kraus // Chemie – Ingenieur – Technik, – 1980. – Vol. 36, № 10. – P. 1053–1060.
5. Интенсификация технологических процессов в аппаратах адаптивного действия : коллектив. монография / Л. А. Сиваченко [и др.] ; под науч. ред. Л. А. Сиваченко ; М-во образования Респ. Беларусь, Баранович. гос. ун-т. – Барановичи : БарГУ, 2020. – 359 с.