



Надуть В. П.

Челышкина В. В.

Сухарев В. В.

*Институт
геотехнической
механики
им. Н. С. Полякова
НАН Украины*

Naduty V. P.

Chelyshkina V. V.

Sukharyev V. V.

*M. S. Polyakov Institute of
Geotechnical Mechanics
under the NAS of Ukraine*

УДК 622.734:621.926.3-9

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВНУТРИВАЛКОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ВИБРАЦИОННОГО ТИПА

В статье представлены конструкция вертикальной внутривалковой мельницы вибрационного типа и методика расчета ее параметров в зависимости от трех переменных факторов: величины зазора разгрузочного отверстия, частоты оборотов вибровозбудителя и высоты навивки на коническом валке. Доказана работоспособность данной конструкции и методики, приведен пример определения максимальной производительности и рациональных параметров мельницы. Определена область дальнейших исследований данной конструкции.

Ключевые слова: *внутривалковая мельница вибрационного типа, измельчение, вибрация, метод расчета параметров.*

Введение. В комплексной технологии переработки базальтового сырья, предусматривающей извлечение меди, титана, железа, начальным этапом является измельчение горной массы, где наряду с валковыми *горизонтальными* дробилками целесообразно использование внутривалковых мельниц вибрационного типа, при переработке техногенных отходов карьера, где крупность фракций не превышает 5 (3) мм.

Созданная в ИГТМ НАН Украины *горизонтальная* внутривалковая мельница вибрационного типа [1] имеет ряд преимуществ по сравнению с обычными валковыми или барабанными мельницами, в которых большая часть потраченной энергии вследствие неизбежного измельчения рассеивается в материале и окружающей среде. К таким преимуществам также относятся замена энергоемкого процесса измельчения с помощью раздавливания на разрушение горной массы с участием сдвиговых усилий [2], использование принудительного многократного силового воздействия на измельчаемый материал, наличие четко выраженной верхней границы класса крупности готового продукта, а также применение положительных сторон вибрационного воздействия. Кроме того, многократная деформация сдвига со сжатием может превращать медные самородки в окатыши цилиндрической формы без дальнейшего их измельчения. Данная

технология приемлема для базальтовых пород, с последующим отделением самородков меди на грохотах тонкой классификации и далее – на электрических сепараторах. Выполненное сравнение по удельной энергоемкости измельчения валковых мельниц серийного производства с внутривалковой мельницей показало, что последняя, при равной производительности, имеет энергопотребление на 30-40 % [3].

Проведенные исследования для *горизонтальной* внутривалковой конусной мельницы вибрационного типа позволили не только подтвердить ее положительные стороны, но и выявить ряд недостатков конструкции [4, 5]. В частности, это неравномерное распределение измельчаемого материала по диаметру помольной камеры, вследствие этого объем используется не полностью, кроме того затруднено измельчение крупных кусков из-за накопления мелкого материала, что снижает производительность мельницы.

В результате анализа полученных результатов была разработана конструкция *вертикальной* внутривалковой мельницы вибрационного типа, рис. 1., в которой за счет вертикального размещения цилиндрических оболочек и синхронизации работы вибровозбудителя и конусных валков достигается повышение производительности работы мельницы [6].

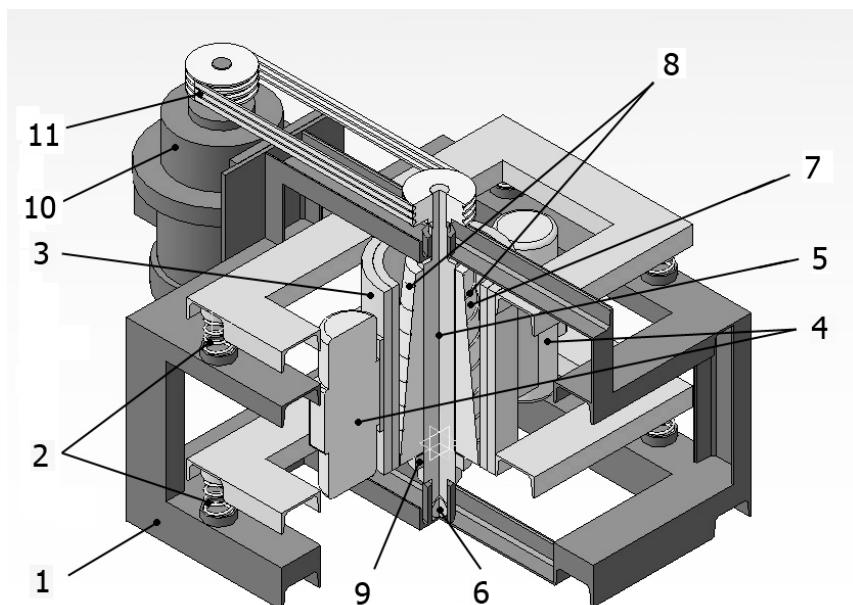
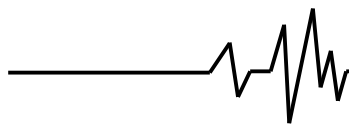


Рис. 1. Схема вертикальной внутривалковой мельницы вибрационного типа:
1 – основание; 2 – упругие элементы; 3 – цилиндрический корпус;
4 – вибровозбудители; 5 – вал; 6 – опора вала; 7 – конусный валок;
8 – навивка; 9 – устройство регулирования смещения конусного валка;
10 – мотор-редуктор; 11 – система передачи вращающегося момента

Принцип работы мельницы заключается в следующем: сверху в рабочую камеру мельницы засыпается горная масса, где под воздействием вращающегося конусного валка 7 с навивкой 8 и вибрации от вибровозбудителей 4 материал транспортируется вниз, подвергаясь при этом измельчению.

Целью данной работы является разработка методики расчета параметров вертикальной внутривалковой мельницы вибрационного типа и определение максимально достижимой производительности данной конструкции мельницы.

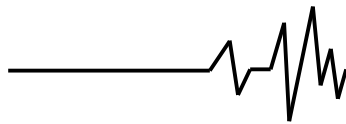
Методика определения параметров мельницы состоит, в первую очередь, в построении регрессионного уравнения, связывающего переменные факторы. Определенные из опытов параметры задаются постоянными, а остальные находятся из уравнения регрессии с помощью опции «Подбор параметра» компьютерной программы MS. Excel [7, 8].

Для построения регрессионного уравнения были проведены экспериментальные исследования производительности валковой вертикальной мельницы с постоянным шагом навивки в зависимости от следующих переменных факторов:

- ширина зазора разгрузочного отверстия $\Delta = 3 \div 5$ мм;
- частота вращения вала вибровозбудителя $w = 700 \div 1000$ об/мин;
- высота винтовой навивки на коническом валке $h = 2 \div 4$ мм.

Испытывался лабораторный образец мельницы с производительностью до 65 кг/ч. Мощность привода мельницы составляла 1,08 кВт. При проведении экспериментов число оборотов вала мельницы (частота вращения валков) задавали равным 60 об/мин, поскольку при испытаниях в широком диапазоне $24 \div 78$ об/мин было установлено, что рациональный диапазон составляет $50 \div 70$ об/мин. Мощность привода вибровозбудителя составляла 0,18 кВт. При частоте вращения вала вибровозбудителя 1400 об/мин величина возмущающей силы (усилия) вибровозбудителя $P_{\max} = 1800$ Н (паспортные данные). При проведении экспериментов возмущающая сила вибровозбудителя достигала 600 Н. В качестве исследуемого материала использовался отсев гранита крупностью $-10+5$ мм. Общее количество опытов составило 90.

Поскольку некоторые из параметров нелинейно связаны с производительностью [3], то регрессию изначально задаем в виде полной квадратичной формы:



$$Q = f(a_0 + a_1 \Delta + a_2 h + a_3 w + a_4 \Delta h + a_5 \Delta w + a_6 h w + a_7 \Delta^2 + a_8 h^2 + a_9 w^2 + a_{10} \Delta^2 h + a_{11} \Delta^2 w + a_{12} h^2 \Delta + a_{13} h^2 w + a_{14} w^2 \Delta + a_{15} w^2 h) \quad (1)$$

Для сокращения числа членов уравнения в программе SPSS [8] используем опцию «Пошаговый отбор». Исходные данные для построения регрессионного уравнения: Q – производительность, кг/ч; Δ – ширина зазора, мм; h – высота навивки, мм; w – частота вращения вала вибровозбудителя, об/мин.

Программой SPSS было предложено 5 регрессионных моделей, где предикторы – это включенные в уравнение независимые переменные. Достоверность аппроксимации

полученных моделей оценивалась по величине квадрата коэффициента корреляции (R^2) двух множеств: расчетного и экспериментального значений производительности. В результате модель 5 обеспечивает наиболее высокое значение $R^2 = 0,99$. При доверительном уровне 95 % t – критерий Стьюдента для всех коэффициентов выше табличного критического значения $t_{\text{крит.}} = 1,99$. Регрессионное уравнение модели 5 имеет вид:

$$Q = - 58,432 + 0,062 h w + 0,001 \Delta^2 w - 0,00003144 w^2 h - 2,526 h^2 + 0,00000364 w^2 \Delta, \quad R^2 = 0,990 \quad (2)$$

Регрессионное уравнение (2) описывает зависимость производительности *вертикальной* валковой вибрационной мельницы при постоянной частоте вращения валков 60 об/мин от переменных факторов: ширины зазора разгрузочного отверстия Δ , частоты вращения вала вибровозбудителя w и высоты винтовой навивки h на коническом валке. Погрешность использования уравнения (2) больше проявляется при низких значениях производительности, в среднем она не превышает 10 %.

Методика определения рациональных параметров мельницы состоит в решении двух задач: первая состоит в определении максимальной производительности при 1-2 фиксированных параметрах, вторая – в определении рациональных параметров для заданной (желаемой) производительности.

1. Определение максимально достижимой производительности

При этом некоторые параметры имеют фиксированное значение, которое определено либо конструкцией изделия, либо получено при анализе парных корреляций производительности с одним из параметров. Парные корреляции позволяют устанавливать значение параметра, для которого имеет место максимум производительности. Остальные переменные параметры, которые будут рациональными для данных условий, а также максимум производительности определяются из уравнения регрессии (2).

Приведем пример.

Задаем требуемую крупность измельчения, например, минимальную

$\Delta = 3$ мм. Связь w с производительностью – линейная, то есть ее максимум достигается при наиболее высоком значении 1000 об/мин. Исходя из этого, задаем $w = 1000$ об/мин. Тогда в уравнении регрессии (2) имеем два неизвестных – производительность Q и высота навивки h . Используя программу Excel, методом перебора параметров, получаем, что при заданных параметрах: $\Delta = 3$ мм и $w = 1000$ об/мин максимальная производительность будет достигнута при $h = 6,3$ мм, и она составит 53,76 кг/ч.

2. Определение рациональных параметров для заданной (желаемой) производительности.

При решении этой задачи:

- задаем требуемую производительность Q ;

- величины w , h и крупность помола Δ находим из уравнения регрессии с помощью опции «Поиск решения» компьютерной программы MS Excel. При этом непременно нужно задать начальное значение хотя бы одного из трех параметров (при счете программа его откорректирует).

Приведем пример.

Пусть желаемая производительность $Q = 65$ кг/ч. Вначале зададим начальное значение высоты навивки $h = 4$ мм. С помощью опции «Поиск решения» программы Excel определяем все три параметра. Теперь зададим другое начальное условие $w = 1000$ об/мин и тоже выполним расчет. И в третьем варианте зададим исходную ширину зазора $\Delta = 5$ мм и тоже выполним расчет. Сравнение трех расчетных вариантов с экспериментальным



значением дает рациональные значения параметров Δ , h , w , при которых достигается $Q = 65$ кг/ч.

Таким образом, разработана методика, которая позволяет решать следующие задачи:

- при заданной производительности мельницы и одном фиксированном параметре определять рациональные значения двух других параметров;

- определять максимальную производительность при двух фиксированных и одном варьируемом параметре.

В заключение отметим, что целью изложенных исследований вертикальной валковой мельницы было показать работоспособность данной конструкции. В дальнейшем эти работы требуется дополнить с учетом таких важных факторов, как частота вращения валков, высота и диаметр основания конусного валка, усилие вибровозбудителя. Также работы, выполненные на граните, целесообразно дополнить исследованием других пород с учетом крупности и плотности частиц питания, а также ситовых характеристик продуктов измельчения. При этом основные принципы изложенной методики определения рациональных параметров вертикальной валковой мельницы не меняются, но добавляется число переменных факторов.

Выводы

Разработана методика определения рациональных параметров вертикальной внутривалковой вибрационной мельницы конструкции ИГТМ НАН Украины [6]. Для этой мельницы по экспериментальным данным измельчения определена регрессионная зависимость производительности мельницы от трех переменных параметров: величины зазора разгрузочного отверстия, частоты оборотов вибровозбудителя и высоты навивки на коническом валке.

Вертикальные внутривалковые мельницы обеспечивают такую же крупность продукта, что и серийные валковые, но имеют меньшую производительность, поэтому они рекомендуются для использования на опытном участке по переработке базальтового сырья, планируемая производительность которого около 10 т/ч.

Список использованных источников

1. Патент № 42114 UA МКИ⁷ В 02 С 2/00, В 02 С 15/00. Внутрішньовалковий конусний млин / ІГТМ, Заявл. 05.01.2009, опубл. 25.06.2009. в Б.И. № 12.

2. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1978. – С. 368-369.

3. Сухарев В.В. Особенности кинематической схемы и результаты исследований работоспособности внутривалковой конусной мельницы вибрационного типа / В.В. Сухарев // Горный информационно-аналитический бюллетень (науч.-техн. журнал) // МГГУ. – М.: Горная книга, 2013. – Вып. 11. – С. 171-175.

4. Надутый В.П., Эрперт А.М., Сухарев В.В. Идентификация результатов экспериментальных исследований зависимости производительности внутривалковой конусной мельницы от прочности горной массы и оборотов привода // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 10. – С. 61-63.

5. Надутый В.П., Остапенко В.А., Сухарев В.В. Распределение сил при измельчении частицы горной массы в конусной валковой мельнице с учетом сил трения / Сб. Полтавского НТУ. – 2009. – Вып. № 39. – С. 44–53.

6. Пат. 48990, UA, МКИ⁷ В 0 2С 2/00, В 02 С 15/00. Внутрішньовалковий конусний млин вібраційного типу / Надутий В.П., Сухарев В.В., Кіжло Л.А.; заявник і патентовласник – ІГТМ НАН України. - №200911229; заявл. 05.11.2009; опубл. 12.04.2010, Бюл. № 7.

7. Кухарев В.Н. Экономико-математические методы и модели в планировании и управлении: Учебник / В.Н. Кухарев, В.И. Салли, А.М. Эрперт. – К.: Выща шк., 1991. – 303 с.

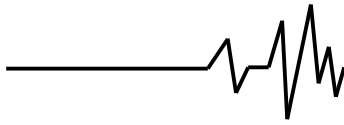
8. Бюль А., Цефель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: Пер. с нем. – СПб.: ООО «Диа-СофтЮП», 2005. – 608 с.

Список источников в транслитерации

1. Pat. № 42114 UA, МКИ⁷ В 02 С 2/00, В 02 С 15/00 (2009). Vnutrishniovalkovyy konusnyy mlyn V.P. Naduty, V.V. Cholyshkina, V.V. Sukharyev; zayavnyk i patentovlasnyk IHTM NAN Ukrayiny.; zayavl. 05.01.2009; opubl. 25.06.2009., Bul. № 12.

2. Rzhevskiy V.V Osnovy fiziki gornykh porod / V.V. Rzhevskiy, G.Ya. Novik. – М.: Nedra, 1978. – S. 368-369.

3. Sukharev V.V. Osobennosti kinematicheskoy skhemy i rezultaty issledovaniy rabotosposobnosti vnutrivalkovoy konusnoy melnitsy vibratsionnogo tipa / V.V. Sukharev // Gornyy informatsionno-analiticheskiy biulleten // MGGU. – М.: Gornaya kniga, 2013. – Vyp. 11. – S. 171-175.



4. Naduty V.P. Identifikatsiya rezultatov eksperimentalnykh issledovaniy zavisnosti proizvoditelnosti Vnutrivalkovoy konusnoy melnitsy ot prochnosti gornoy massy i oborotov privoda / V.P. Naduty, A.M. Erpert, V.V. Sukharev // Naukovyy visnyk NGU. – 2008. – № 10. – S. 61-63.

5. Naduty V.P. Raspredeleniye sil pri izmelchenii chastitsy gornoy massy v konusnoy valkovoy melnitse s uchetom sil treniya / V.P. Naduty, V.A. Ostapenko, V.V. Sukharev / Sb. Poltavskoho NTU. – 2009. – Vip. 39. – S. 44–53.

6. Pat. № 48990 UA, МКИ⁷ B 02 C 2/00, B 02 C 15/00 (2010). Vnutrishniovalkovyy konusnyy mlyn vibratsiynij tyhu V.P. Naduty, V.V. Sukharev, Kizhlo L.A.; zayavnyk i patentovlasnyk IHTM NAN Ukrainy.; Z. № 200911229; zayavl. 05.11.2009; opubl. 12.04.2010., Bul. № 7.

7. Kukharev V.N. Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli v planirovanii i upravlenii: Uchebnik / V.N. Kukharev, V.I. Salli, A.M. Erpert. – K.: Vyshcha shk., 1991. – 303 s.

8. Byuyul A. SPSS: iskusstvo obrabotki informatsii. Analiz statisticheskikh dannykh i vosstanovlenie skrytykh zakonomernostey / A. Byuyul', P. Tsefel'. // Per. s nem. – SPb.: OOO «Dia-SoftYuP», 2005. – 608 s.

РОЗРОБКА МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ВНУТРІШНЬОВАЛКОВОГО МЛИНА ВІБРАЦІЙНОГО ТИПУ

Анотація. У статті представлено конструкцію вертикального

внутрішньовалкового млина вібраційного типу і методику розрахунку його параметрів в залежності від трьох змінних факторів: величини зазору розвантажувального отвору, частоти обертів віброзбудника і висоти навивки на конічному валку. Доведено працездатність даної конструкції та методики, наведено приклад визначення максимальної продуктивності і раціональних параметрів млина. Визначена область подальших досліджень даної конструкції.

Ключові слова: внутрішньовалковий млин вібраційного типу, подрібнення, вібрація, метод розрахунку параметрів.

DEVELOPMENT OF A METHOD CALCULATING THE PARAMETERS INTRA-ROLLER MILL VIBRATION TYPE

Annotation. The article presents the design of the vertical vibrating intra-roll mill and method of calculation of its parameters on three variables: size of the gap of the discharge openings, the frequency of the vibration exciter and height of the winding on the conical roller. Prove the efficiency of the design and methodology, is an example of determination of the calculation of the maximum performance and efficient mill parameters. The region of further studies of this design.

Key words: vibrations, intra-roller mill of the vibrating type, pounding, vibration, method calculating the parameters.