

*Рядинская Л. В., ассистент,  
Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
Лозовая С. Ю., д-р техн. наук, проф.,  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО УПРАВЛЕНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПОМОЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

lozwa@mail.ru

*На примере помольных агрегатов малых размеров разработаны модели, предназначенные для исследования и управления энергетическими параметрами помольных устройств. Использование программного обеспечения и, разработанных вычислительных комплексов, выполняющих функции управления технологическим процессом измельчения материалов в помольных устройствах с деформируемой рабочей камерой позволили определить параметры, влияющие на процесс снижения энергетических характеристик устройства.*

*Один из путей обеспечения эффективного помола и получения готового продукта с заданными свойствами есть организация управления перемещением мелющей загрузки в рабочей камере измельчительного устройства, что непосредственно влияет на сам процесс. Это было реализовано в целом классе помольных устройств с деформируемыми рабочими камерами, в которых использован механизм изменения формы (деформирования) тонкостенных элементов различной конфигурации, заполненных мелющими телами.*

**Ключевые слова:** *мощность, энергетические характеристики, помольные устройства, деформируемые камеры.*

В науке, технике и производстве применяются эффективные методы исследования объектов и процессов [1-3]. Формализованное описание моделируемой системы является важным этапом в научном исследовании. Определение структуры, основных свойств, механизмов взаимодействия и анализ рассматриваемых объектов является необходимым для определения наилучших способов управления процессом при заданных критериях.

При анализе механизмов явлений и способов управления производственными процессами, а также прогнозировании последствий реализации заданных критериев, альтернативой аналитическим методам решений выступают численные методы, реализуемые в различных средах языков программирования.

Для получения математической модели, описывающей изменение мощности в мельницах с различными видами деформируемых помольных камер, с целью оптимизации конструктивных и технологических параметров, определили необходимость использования двух подходов: с точки зрения механики сплошной среды, так как среда сыпучая и физико-химического подхода, т.к. объем камеры заполняет совокупность материала и мелющих тел.

В настоящее время такие задачи решаются в основном при помощи эксперимента. Но, несмотря на очевидные преимущества, физические эксперименты не всегда могут дать исчерпывающей информации. Эффективным способом такого исследования является математическое мо-

делирование и проведение численного эксперимента.

Разработаны математические модели в рамках сплошной среды и с учетом дискретности загрузки, позволяющие исследовать изменение мощности, затрачиваемой на преодоление сил сопротивления смеси мелющих тел и материала в рабочих камерах мельниц сверхтонкого помола от конструктивных и геометрических параметров, а также компьютерные программы, реализующие численные расчеты коэффициента полезного заполнения и методы исследования мощности [4-5].

Программная реализация указанных моделей, позволяет прогнозировать последствия реализации воздействия модельных параметров на технологический процесс, варьировать параметры для оптимизации производственных показателей, что актуально. Компьютерные программы, реализующие численные расчеты и полное исследование модели мощности в широком диапазоне значений параметров, позволили составить качественное представление об их влиянии на технологические параметры процесса измельчения материалов, а также рассчитывать конструктивные параметры, названных помольных устройств при проектировании их модельного ряда [6].

На рисунке 1 представлена графическая зависимость мощности, затрачиваемой на преодоление сил сопротивления перемещению загрузки, от частоты вращения привода для различных типоразмеров рабочих камер. Величина мощности затрачиваемой на преодоление сил  $F_m$ ,  $F_e$ ,

примерно равна по значению для каждого типоразмера рабочих камер, а на преодоление силы  $F_\tau$  примерно на 2 порядка выше, это можно объяснить тем, что скорость загрузки в пристен-

ной зоне выше, т.е. при деформировании стенки камеры увлекают за собой смесь мелющих тел и материала.

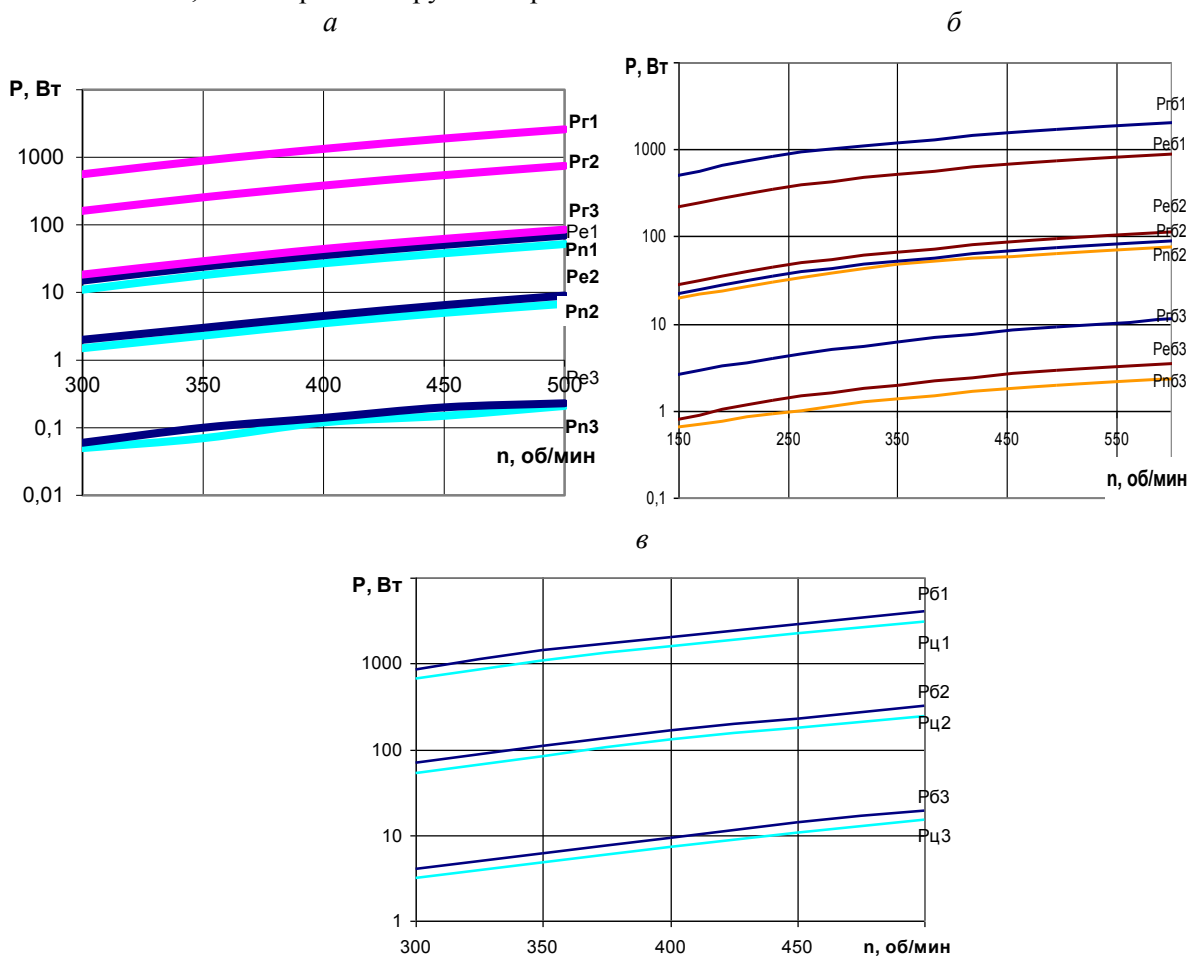


Рис. 1. Графики зависимости мощности от силовых характеристик и от частоты вращения привода ( $1 - R=0,15 \text{ м}; L=0,6 \text{ м}; 2 - R=0,1 \text{ м}; L=0,4 \text{ м}; 3 - R=0,05 \text{ м}; L=0,2 \text{ м}$ ):

*а* – график зависимости мощности от силовых характеристик и от частоты вращения привода для различных типоразмеров цилиндрической камеры; *б* – график зависимости мощности от силовых характеристик и от частоты вращения привода для различных типоразмеров бочкообразной камеры; *в* – график зависимости мощности от силовых характеристик и от частоты вращения привода для различных типоразмеров бочкообразной и цилиндрической камер.

Графическая зависимость (рис. 2) показывает, что величина мощности, затрачиваемой на преодоление сил  $F_n, F_e$ , примерно равна по значению для каждого типоразмера рабочих камер, а на преодоление силы  $F_\tau$  примерно на 2 порядка выше, это можно объяснить тем, что скорость загрузки в пристенной зоне выше, т.е. при деформировании стенки камеры увлекают за собой смесь мелющих тел и материала.

В рамках дискретной модели рассмотрена задача о расчете мощности, необходимой для приведения в движение по эллиптическим траекториям  $n$  – слоев мелющих тел с помощью вращательного движения прижимных валиков. Для построения дискретной модели мощности в зависимости от геометрических и технологических параметров определили величину работы и значение энергии.

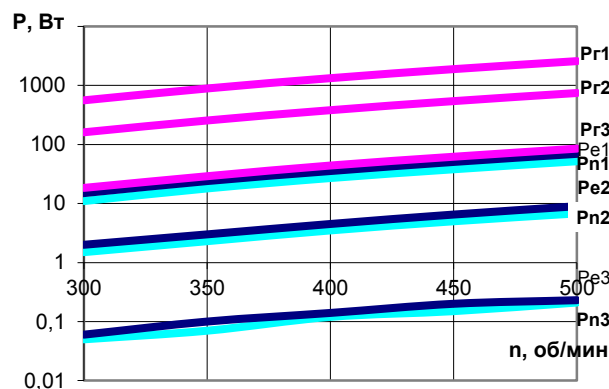


Рис. 2. Графики зависимости мощности от силовых характеристик и от частоты вращения привода для различных типоразмеров цилиндрической камеры ( $1 - R=0,15 \text{ м}; L=0,6 \text{ м}; 2 - R=0,1 \text{ м}; L=0,4 \text{ м}; 3 - R=0,05 \text{ м}; L=0,2 \text{ м}$ ).

Полная величина работы, которую необходимо затратить, чтобы преодолеть силу сопро-

тивления полной загрузки, определяется следующим соотношением:

$$A = \sum_{n=1}^{k-1} A_n = \frac{f_n \pi \sqrt{3} m_1 \omega_p^2 R_p^2 d_u^2}{(\kappa - 1)^2 (D - d_u)^2} \sum_{n=1}^{k-1} \kappa_n \psi(n)(n-1)^3 (1 + \delta) [\sqrt{3}(n-1) - (1 + \delta)]. \quad (1)$$

Определили выражение для полной энергии, которую необходимо подвести к деформируемой помольной камере, чтобы передать вращательное движение мелющим телам по эллиптическим траекториям:

$$H = \kappa_1 \sum_{n=1}^k H_n = \frac{I_1 (\varepsilon^2) \kappa_1}{\pi} \sum_{n=1}^k M_{1,n} \Omega_n^2 \left( a_n - \frac{d_u}{2} \right)^2. \quad (2)$$

Тогда величина потребляемой мощности при работе помольного агрегата с деформируемой камерой будет определяться соотношением:

$$P = (H + A) \omega_{np}. \quad (3)$$

$H$  - полная энергия мелющих тел (шаров):

$$H = E_1 N_u(\delta) \kappa_1, \quad (4)$$

$E_1$  - энергия одного шара, находящегося в наружном слое,  $N_u(\delta)$  - количество шаров в поперечном сечении камеры помола,  $\kappa_1$  - число шаров вдоль помольной камеры,  $\delta$  - степень деформации рабочей помольной камеры.

Таким образом, получена математическая модель с учетом дискретности загрузки камеры для определения мощности, зависящей от конструктивных ( $R, L$ ) параметров рабочей камеры и технологических ( $\delta, d, \rho_u, \rho_m$ ) параметров.

Анализ полученных результатов показал (рис. 3, а), что при увеличении частоты вращения мелющих тел в 3 раза, мощность увеличивается примерно в 7 раз, причем, при частоте вращения мелющих тел до 400 об/мин привода, увеличение в 2 раза, мощность увеличивается примерно в 2,5 раза, при этом происходит основной рост величины мощности, т.е. здесь можно сделать вывод, что придавать роликам число оборотов более, чем 400 об/мин не целесообразно. При увеличении размера мелющих тел в 2,8 раза мощность увеличивается дополнительно в 2 раза.

Циклический характер графика изменения мощности (рис. 3, б) в зависимости от размера мелющих тел показывает, что если зависимость  $k_n = \text{целое число}$ , то величина мощности соответствует минимальным значениям функции, в противном случае на длину  $L$  не помещается мелющее тело (шар), т.е. нарушается плотность упаковки, следовательно, в объеме камеры появляются пустоты и к истирающе-раздавливающим воздействиям, наиболее целесообразным для сверхтонкого помола, добавляются ударные, что существенно снижает эффективность сверхтонкого помола (понятие данного вывода не учитывается при других подходах).

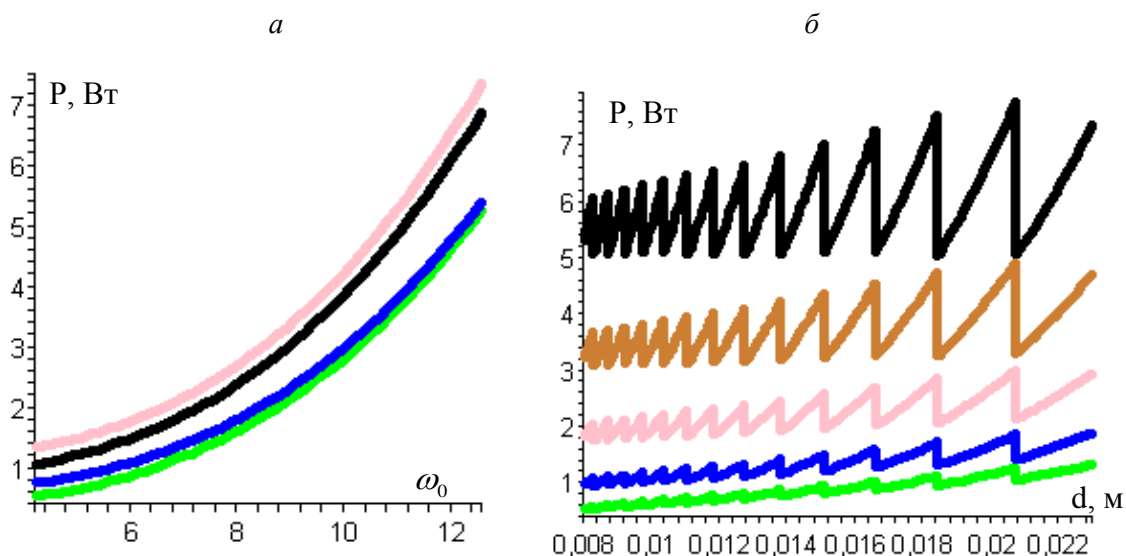


Рис. 5. Результаты численного эксперимента по расчету затрачиваемой мощности:

$a$  – мощность в зависимости от частоты вращения мелющих тел  $\omega_0$  для их размеров  $d=0,008; 0,013; 0,018; 0,023$ ;  $b$  – мощность в зависимости от размера мелющих тел для их частоты вращения  $\omega_0=4,2; 6,3; 8,4; 10,5; 12,6$ , что соответствует числу оборотов вращения роликов, изменяющемуся в интервале 300...500 об/мин.

Анализ полученных результатов показал, что дискретная модель позволила составить качественное представление о влиянии модельных параметров на процесс измельчения материала.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вердиян М.А., Кафаров В.В. Математическое моделирование помольных агрегатов // Цемент. 2003. №12. С. 13-14.
2. Веригин Ю.А., Сартаков А.В., Маликова Л.Ю., Вершинин А.Л. Физическое и математическое моделирование процессов измельчения материалов как инструмент выбора режимов работы помольных машин и оборудования // Ползуновский альманах.- Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2001. 2001. №3. С.126-131.
3. Кафаров В.В., Вердиян М.А. Математические модели структуры потока материала в мельницах // Цемент. 2005. №5. С. 9 - 11; №6. С. 12 - 13.
4. Лозовая С.Ю., Рядинская Л.В. Разработка дискретной модели мощности, затрачиваемой на помол материала в устройствах с цилиндрической деформируемой камерой // Научные ведомости Белгородского государственного университета История Политология Экономика Информатика/под ред. Л.Я. Дятченко – Белгород, №13(84) 2010 вып. 15/1, С.107-111.
5. Лозовая С.Ю., Рядинская Л.В. Математическое моделирование изменения мощности, затрачиваемой на помол материала, в зависимости от геометрических и технологических параметров рабочих камер // Комплексный анализ и его приложения в дифференциальных уравнениях и теории чисел: сб. материалов Международная конференция (Белгород, 17-21 октября 2011 г.). – Белгород: ИПК НИУ «БелГУ», 2011. 140. С.71-72.
6. Лозовая С.Ю., Рядинская Л.В., Лозовой Н.М. Моделирование изменения мощности, затрачиваемой на помол материала в устройствах с деформируемыми камерами по дискретной модели // Свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ, №2010614089, (RU), заявка №2010612440, дата поступления 5.05.2010, зарегистрировано 23.06.2010