

УДК 621.926

## СНИЖЕНИЕ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ИЗМЕЛЬЧАЮЩИХ АГРЕГАТОВ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

П.Е. Вайтехович, Д. Н. Боровский

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

В производстве строительных материалов широко используются процессы измельчения. Они характеризуются большими энергозатратами и высоким абразивным износом деталей и узлов измельчающих агрегатов. В отдельных источниках указывается, что в мире из-за абразивного износа безвозвратно теряется несколько миллионов тонн высококачественной стали. По этой причине уже на стадии разработки новых конструкций измельчающих агрегатов необходимо прогнозировать возможный абразивный износ и принимать меры по его уменьшению.

Из всех измельчающих агрегатов наибольшему износу подвергаются высокоскоростные ударные, в частности, ударно-центробежные мельницы [1]. В первую очередь у них изнашиваются лопасти ротора-ускорителя и отбойные элементы. Метода расчета и прогнозирования интенсивности износа для этих агрегатов до настоящего времени не разработано. В связи с этим данная работа направлена на создание комплексной методики расчета величины износа лопастей ротора-ускорителя центробежной мельницы.

Измельчаемый материал в них подается в центральную зону ротора-ускорителя (рисунок 1).

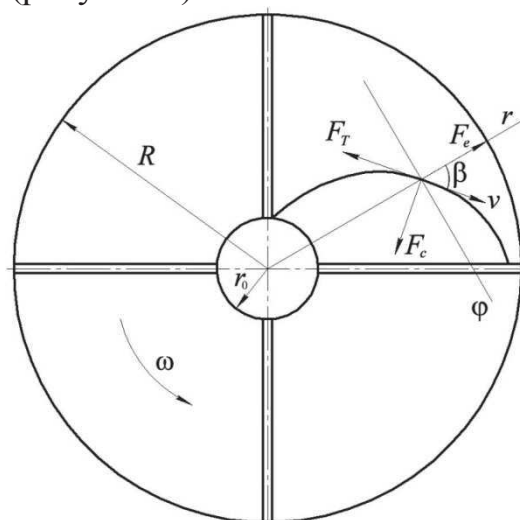


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения траектории движения частиц

Частицы движутся в межлопастном пространстве по поверхности вращающегося диска. Траекторию их перемещения до соприкос-

новения с лопастью определяли с помощью уравнения относительного движения:

$$m \cdot \vec{a}_d = \vec{F}_T + \vec{F}_e + \vec{F}_c, \quad (1)$$

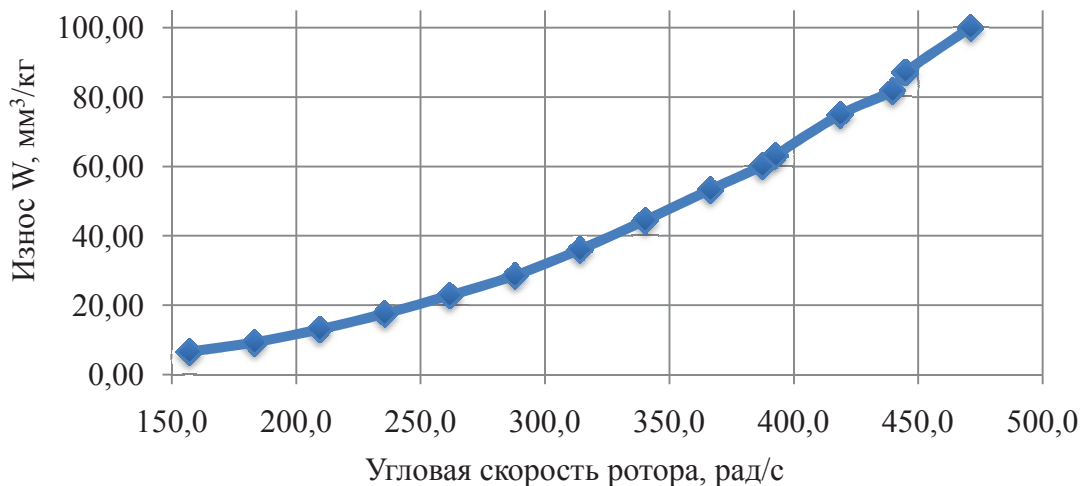
где  $a_d$  – ускорение относительного движения,  $\text{м/с}^2$ ;  $F_T$  – сила трения, Н;  $F_e$  и  $F_c$  – инерционный переносная и кориолисова силы соответственно, Н.

Записав это уравнение в проекциях на оси полярной системы координат [2], определим скорость и угол атаки в момент соударения частиц с лопастью. Эти два параметра дали возможность использовать ударную модель Бекмана-Гоцмана [3] для расчета объемной интенсивности износа. Ее математическое описание представлено в виде:

$$W = \frac{3}{4 \cdot \pi \cdot \rho} \cdot \frac{k}{e_s} \cdot \left[ \tau_{s1} \cdot \sqrt{2 \cdot B} \cdot \left( \frac{5}{3} + \pi \right) \cdot \frac{2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \cos^2 \alpha}{3 \cdot HB} + \tau_{s2} \cdot 0,65 \cdot B^2 \right], \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность абразива,  $\text{кг/м}^3$ ;  $k$  – коэффициент формы частиц;  $e_s$  – плотность энергии среза,  $\text{Дж/м}^2$ ;  $\tau_{s1}$ ,  $\tau_{s2}$  – прочности адгезионных связей, МПа;  $B$  – аналог глубины проникновения частиц в поверхность;  $HB$  – твердость поверхности;  $v$ ,  $\alpha$  – соответственно скорость ( $\text{м/с}$ ) и угол атаки ( $\text{град.}$ ) в момент соприкосновения абразивных частиц с металлической поверхностью.

Результаты расчета показаны на графической зависимости (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Зависимость величины износа от угловой скорости ротора-ускорителя**

Видно, что интенсивность износа увеличивается с повышением угловой скорости ротора и может достигать  $100 \text{ мм}^3/\text{кг}$ .

После соприкосновения с лопастью частицы продолжают двигаться вдоль нее. Абразивный износ при этом увеличивается за счет истирания. Для определения его интенсивности на указанном участке принята модель Ходакова [4]. Она основана на том, что одиночное зерно абразива срезает слой материала при движении вдоль поверхности. Этот процесс по своей сути подобен процессу шлифования.

После ряда преобразований получена зависимость (3) для определения интенсивности износа на этой стадии представляет соотношение площадей сегмента заглабления  $S_m$  и элементарной ячейки в слое материала  $4 \cdot r_0^2$ .

$$W = \frac{S_m}{4 \cdot \mu \cdot r_0^2 \cdot \rho}. \quad (3)$$

Площадь сегмента взаимосвязана с величиной заглабления абразивного зерна в поверхность лопасти

$$h = \left[ \frac{3 \cdot F(1 - \mu^2)}{4 \cdot E} \right]^{2/3} \cdot r_0^{-1/3}, \quad (4)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона,  $E$  – модуль упругости.

Сила давления  $F$  зависит от инерционных сил и определяется по формуле (5)

$$F = \frac{4}{3} \pi \cdot r_0^3 \cdot \rho \cdot 2 \cdot \omega \cdot \dot{r}_{cp}. \quad (5)$$

Средняя скорость перемещения частиц вдоль радиальных лопастей ротора  $\dot{r}_{cp}$  определялась по уравнению (1) относительного движения.

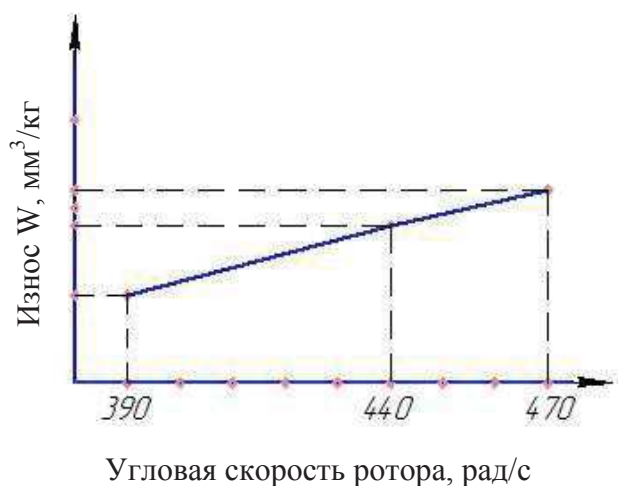
По величине заглабления рассчитывался угол  $\alpha$  (6) и площадь сегмента  $S_m$  (7).

$$\alpha = 2 \cdot \arccos \frac{r_0 - h}{r_0}. \quad (6)$$

$$S_m = \frac{1}{2} \cdot r_0^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha). \quad (7)$$

Результаты расчета интенсивности износа, полученные при помощи формулы (5), представлены на рис. 3.

Видно, что износ при истирании, примерно в два раза ниже, чем при ударе. Суммарная интенсивность абразивного износа может достигать  $150 \text{ мм}^3/\text{кг}$ . Эти результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными в работе [5].



**Рисунок 3 – Зависимость величины износа от угловой скорости ротора**

Таким образом подтверждена адекватность предлагаемой методики расчета объемной интенсивности износа лопастей ротора-ускорителя ударно-центробежной мельницы. Ее можно использовать на стадиях разработки новых и усовершенствования действующих конструкций измельчающих агрегатов для выявления наиболее изнашиваемых узлов и деталей. В последствии за счет применения сменных накладок из износостойких материалов можно значительно увеличить срок их безостановочной работы. Это позволит выполнить основную задачу ресурсосбережения – снизить расход металла на изготовление измельчителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бароха, Э.Л. Центробежные дробилки и мельницы ударного типа / Э.Л.Бароха, В.В.Воробьев, А.В. Горобец. Центробежная техника – высокие технологии: материалы 3-й МНТК, Минск / ОАО «НПО Центр». – Минск, 2008. – С. 5 – 15.
2. Вайтехович, П.Е. Интенсификация и моделирование процессов диспергирования в поле инерционных сил / П. Е. Вайтехович. – Минск: БГТУ, 2008. – 220 с.
3. Клейс, И.Р. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия / И.Р. Клейс, Х.Х. Ууэмыйс. – М.: Машиностроение, 1986. – 286 с.
4. Ходаков, Г.С. Механизм абразивного шлифования стекла. / Г.С. Ходаков // Оптико-механическая промышленность. – 1985. – № 5. – С. 31 – 36.
5. Таболич, А.В. Конструктивные возможности повышения износостойкости ускорителей центробежно-ударных мельниц / А.В. Таболич, С.Н. Бондаренко // Горная механика и машиностроение. – 2016. – №2. – С. 71 – 77.