

Результаты имитационного моделирования
мельниц само и полусамойзмельчения

Бортников А.В.* Л.Дэлгэрбат** Г Даваацэрэн**

Известно, что на производительность мельниц само и полусамойзмельчения оказывают влияние многие факторы, такие как физико-механические и крупностные характеристики исходного сырья, шаровая загрузка в мельнице, скорость разгрузки материала из мельниц и другие.

Для количественной и качественной оценки работы этих мельниц важно определить влияние скорости измельчения материалов в мельницах (selection and breakage function) и параметра разгрузочной решетки. Исследование влияния этих факторов проведено с применением метода имитационного моделирования, основанного на массово-популяционной модели кинетики разрушения¹.

Кинетика измельчения материалов описывается уравнением вида:

$$\frac{d(M, \beta_i)}{dt} = -S_i M, \beta_i + \sum_{j=1}^{i-1} B_j S_j M \cdot \beta_j \quad (1)$$

где: M- масса материала в мельниц, т .

β_i - содержание i-той фракции в исходной руде

S_i - функция отбора (Selection Function)

B_j - функция разрушения (Breakage Function)

Функция S, B определяют по результатам лабораторных, полупромышленных или промышленных испытаний. Например по Т.Йвоуе² вид этих функции имеет вид:

$$S(x) = \left(\frac{x}{A}\right)^{0.5}$$

$$B(x, y) = \left(\frac{x}{y}\right)^{\beta}, \quad \beta = 1 \quad (2)$$

где: x, y- размер фракции, мм

* — лаб. "Механобр-Техника" г. Санкт-Петербург, Россия

** — СП "Эрдэнэт"

Для характерных классов крупности применительно к мельницам само и полусамомизмельчения ($\beta_{,100}$, $\beta_{,25-100}$, $\beta_{,25}$) уравнение (1) можно представить в следующей форме:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dM_{,100}}{dt} = -S_1 \cdot M_{,100} \\ \frac{dM_{,25-100}}{dt} = \beta_{(,25-100, \cdot 100)} \cdot S_1 \cdot M_{,100} - S_2 \cdot M_{,25-100} \\ \frac{dM_{,25}}{dt} = \beta_{-25, \cdot 100} \cdot S_1 \cdot M_{,100} + \beta_{-25, \cdot 25-100} \cdot S_2 \cdot M_{,25-100} - S_3 \cdot M_{,25} \\ M = M_{,100} + M_{,25-100} + M_{,25} \end{array} \right. \quad (3)$$

С другой стороны в промышленных условиях, если мельницу считать как транспортирующую емкость, уравнение материального баланса запишется в следующем виде:

$$\frac{dM}{dt} = Q_F - Q_D$$

Если обозначить,

$$\varphi = \frac{M}{\rho \cdot V}$$

как заполнение барабана мельниц шарами в долях ед., то

$$\rho \cdot V \cdot \frac{d\varphi}{dt} = Q_F - Q_D \quad (4)$$

где: ρ - насыпной вес руды в мельнице, т/м³

V - объем мельницы

Q_F, Q_D - расход руды в питании и в разгрузке мельницы, т/мин.

Как правило в мельницах полу и самоизмельчения материал разгружается через решетку, с определенным размером (в наших условиях 25мм). Следовательно, мельница само и полусамомизмельчения как транспортирующая емкость, характеризуется следующими двумя основными факторами, количественно и качественно определяющими ее производительность:

- а) Скорость измельчения классов $\beta_{,a}$ при размере разгрузочной решетки a , т.е. доля вновь образуемых классов.
- б) Скорость разгрузки класса $\beta_{,a}$ из мельницы

С учетом формул (1) и (4) математическую модель мельницы можно представить в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dM}{dt} = Q_f - Q_D \\ \frac{dM_{-a}}{dt} = \beta_{-a} \cdot Q_f - Q_D + C_u \cdot (M - M_{-a}) \\ Q_D = \alpha_M \cdot M_{-a} \\ \varphi = \frac{M}{\rho \cdot V} \cdot 100 \end{cases} \quad (5)$$

где: α_M - скорость разгрузки класса β_{-a} из мельницы, 1/мин

C_u - скорость измельчения, 1/мин класса $(\beta + a)$

M_{-a} - масса материалов фракции 0 - а в мельнице, т/мин.

Коэффициент α_M зависит в основном от живого сечения разгрузочной решетки и определяется как :

$$\alpha_M = \overline{\alpha_M} \cdot L_a$$

L_a - живое сечение разгрузочной решетки, в долях ед

$\overline{\alpha_M}$ - нормированная скорость разгрузки мелкого класса из мельницы, 1/мин

По результатам промышленного опробования определив α_M , C_u и используя модель (5) путём имитации можем оценить динамическое поведение мельниц самоизмельчения.

Варируя значением производительности мельниц Q_f с учетом ее флуктуации по времени и используя модель (5) в диапазоне $\varphi = 0.43 \div 0.45$ произведена оценка максимальной производительности мельниц само и полусамоизмельчения. Причем, для решения системы дифференциального уравнения (5) использован метод Рунге-Кутты 4^{го} порядка.

В результате проведенного исследования определено влияние шаровой загрузки на часовую производительность мельницы, что представлено в таблице №1 и хорошо согласуется с данными промышленного опробования (рисунок 3)

Таблица №1

$C_u, \frac{1}{\text{мин}}$	$\varphi_{C_u}, \%$	$Q_{\text{модель}}$	$Q_{\text{эсп.}}$
$C_u = 0.023$	0	179.0	185.0
$C_u = 0.046$	6	313	320
$C_u = 0.095$	10	511	495

Дана оценка зависимости скорости измельчения $+a$ (в условиях Эрдэнэца $+25\text{мм}$) от шаровой загрузки в мельнице (рис. 1). Заметим, что из таблицы 1 и рис. 1 видно, что $C_u = 0.023$ соответствует режиму полного самоизмельчения. Установлена количественная связь между содержанием класса $+a$ ($+25\text{ мм}$) в исходной руде и производительностью мельниц, что представлено в таблице 2 и рис. 2.

Таблица 2

$\beta_{-25}, \%$	Производительность при различных шаровых загрузках $\varphi_{сш}, \%$		
	0	6	10
20.0	162.0	281.3	444.3
30.0	173.0	311.0	486.3
45.0	225.0	367.8	569.0

Полученные зависимости показывают, что массово - популяционная модель (5) достаточно адекватно описывает качественно-количественную характеристику мельниц полу- и самоизмельчения по производительности и применима для оптимизации работы мельниц само- и полусамоизмельчения.



Рис. 1.

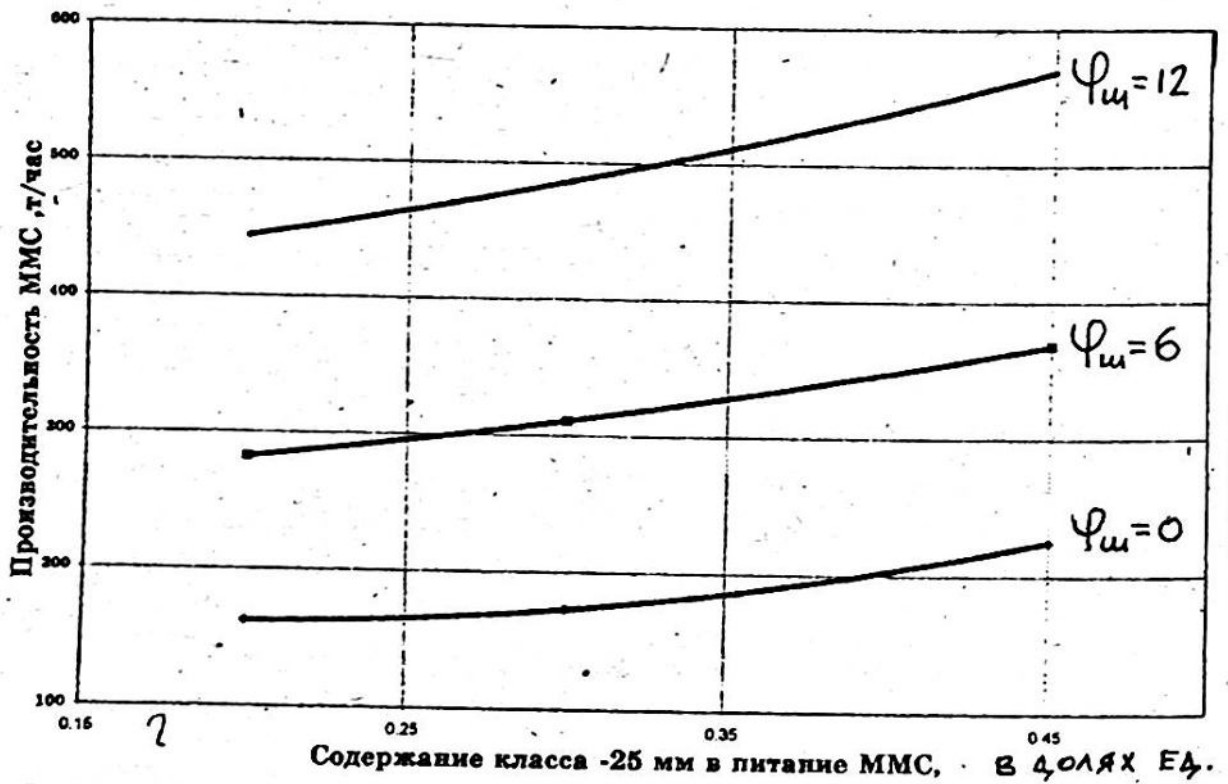


Рис. 2.

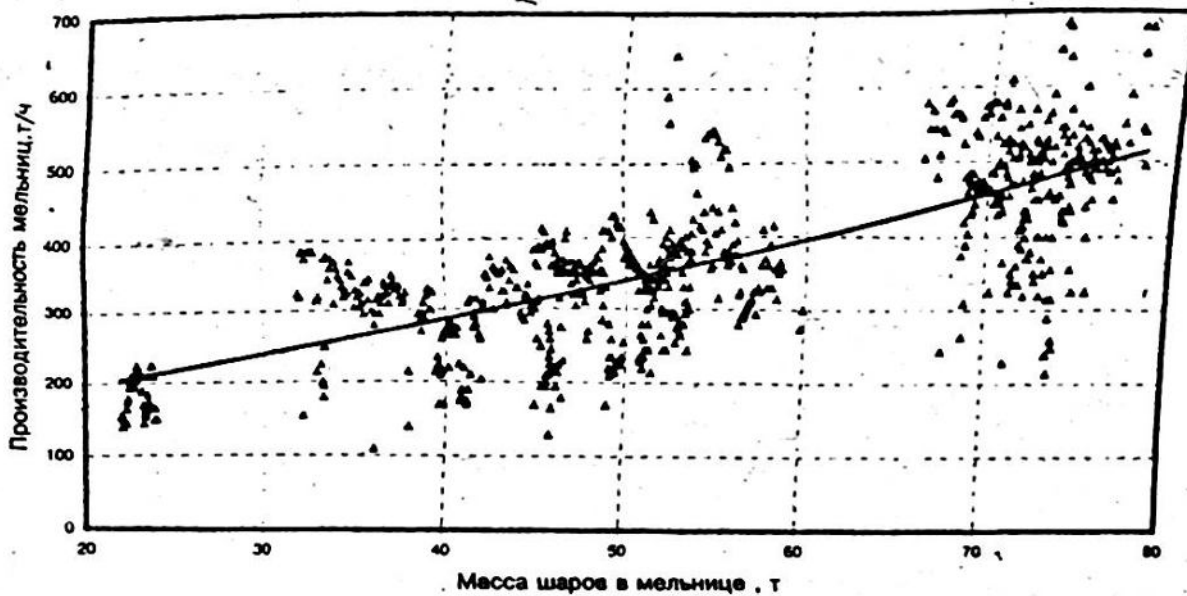


Рис. 3.

Использованные литературы:

1. Martinovic, T.I., Lo, Y.C., Ynchausti, R.A., Herbst, J.A., 1990, "Steady-State and Dynamic Optimazation of Ball Mining at the Carol "
2. Y.C.Lo., Increasing autogenous and semi-autogenous mill capacity through grinding process optimization