

*к.т.н. Левченко О.А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ОДНОВАЛКОВОЙ ЗУБЧАТОЙ ДРОБИЛКИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ДИНАМИЧНОСТИ**

*Отримана математична модель, яка описує зміну коефіцієнту динамічності машинного агрегату при дробленні агломерату в одновалкової зубчастій дробарці, що дозволяє уникнути резонансних режимів при процесі дроблення.*

***Ключові слова:** агломерат, дробарка, коефіцієнт динамічності, поліноміальна модель, багатофакторне планування, динаміка.*

*Получена математическая модель, описывающая изменение коэффициента динамичности машинного агрегата при дроблении агломерата в одновалковой зубчатой дробилке, что позволяет исключить резонансные режимы в процессе дробления.*

***Ключевые слова:** агломерат, дробилка, коэффициент динамичности, полиномиальная модель, многофакторное планирование, динамика.*

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Одной из наиболее распространенной среди дробильных машин для дробления агломерационного спека является одновалковая зубчатая дробилка [1]. Перспективностью ее применения, по сравнению со щековыми, является возможность реализации условий излома с последующим продавливанием кусков агломерата через колосниковую решетку, что приводит к разрушению пирога по наименее спеченным местам и снижает энергозатраты на дробление [2].

Кроме того, по данным ДонНИИчермет (г. Донецк) при температуре агломерата свыше 800 °С нижний слой пирога поступает в дробилку в пластическом состоянии, что приводит к его расплющиванию в щековой дробилке с получением кусков больших размеров [3]. Значительные размеры кусков в готовом агломерате при последующей транспортировке и перегрузках приводят к увеличению мелких фракций.

По имеющимся данным снижение содержания фракции 0-5 мм на 1% повышает производительность доменной печи на 0,4-0,7 % и снижает расход кокса на 0,4-0,7 %; снижение содержания фракций 0-5 мм в

агломерате с 14,8 до 10,6 % обеспечивает повышение интенсивности плавки на 1,7-2,3 % [4].

**Анализ исследований и публикаций.** Проведенными ранее исследованиями [5] выявлено, что при реализации процесса дробления в типовой конструкции одновалковой дробилки скорость вращения ротора не согласована со скоростью движения аглоспека по наклонной направляющей. Величина кусков достигает 120 – 250 мм при их количестве в готовом агломерате до 25 %, что приводит на этапе транспортировки к самоизмельчению агломерата из-за большой потенциальной энергии кусков. Установлено [6], что одним из направлений снижения удельной массы крупных кусков является повышение угловой скорости вращения ротора, при этом возникает возможность наступления резонансных режимов работы дробилки из-за большой массы и габаритов вращающихся частей. Таким образом, возникает задача определения условий наступления резонанса с целью недопущения его в реальных условиях работы машины.

**Постановка задачи.** Задачей публикации является выявление математической модели, описывающей влияние параметров работы одновалковой зубчатой дробилки на коэффициент динамичности.

**Изложение материала и его результаты.** Изучение влияния параметров работы одновалковой зубчатой дробилки на коэффициент динамичности производилось на основе двухмассной динамической модели работы одновалковой дробилки [7], где коэффициент динамичности неограниченно возрастает при резонансе и имеет вид:

$$K_d = \frac{\sqrt{\Delta_B^2 + \Delta_C^2}}{\Delta}, \quad (1)$$

при этом:

$$\begin{cases} \Delta = (P_k^3 - P_k \beta_0^2)^2 - \left( \frac{\beta_0^2}{T} - \frac{P_k^2}{mT} \right)^2 \\ \Delta_B = \frac{P_k}{T} \left[ \beta_0^2 (\beta_0^2 - P_k^2) - \frac{C}{I} \left( \beta_0^2 - \frac{P_k^2}{m} \right) \right], \\ \Delta_C = \frac{C}{I} P_k (P_k^3 - P_k \beta_0^2) - \frac{\beta_0^2}{T^2} \left( \beta_0^2 - \frac{P_k^2}{m} \right) \end{cases}, \quad (2)$$

$$\text{где } \beta_0 = \sqrt{C \frac{I_1 + I}{I_1 I}}; \quad T = I_1 + I; \quad m = \frac{I_1}{I_1 + I}; \quad P_k = \frac{k\pi}{l}; \quad l = \frac{\pi}{240} \quad k=1, 2, \dots$$

$I_1$  – момент инерции якоря двигателя;  $I$  – момент инерции вала и бил дробилки;  $C$  – жесткость упругих связей масс.

В качестве способа получения полиномиальной модели было применено трехфакторное ротатабельное униформпланирование второго порядка, как наиболее точный тип планирования. Был организован компьютерный эксперимент при одновременном изменении трех факторов на пяти уровнях варьирования, при этом задавались нулевые точки, необходимые для оценки ошибок эксперимента и проверки адекватности математической модели [8].

Факторы в кодированном виде и интервалы их варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Интервалы варьирования факторов

Параметры	Факторы		
	суммарная крутильная жесткость, $x_1(C)$ , кг м/рад	длина зуба $x_2(l)$ , м	угловая частота вращения электро-двигателя $x_3(\omega)$ , с <sup>-1</sup>
Основной уровень, $x_i = 0$	10500	0,25	8,35
Интервал варьирования, I	5648	0,09	4,95
Верхний уровень, $x_i = +1$	16148	0,34	13,30
Нижний уровень, $x_i = -1$	4852	0,16	3,40
Верхняя звездная точка, $x_i = +1,682$	20000	0,4	16,67
Нижняя звездная точка, $x_i = - 1,682$	1000	0,1	0,033

Функцией отклика являлся коэффициент динамичности машинного агрегата – одновалковой зубчатой дробилки. При постановке эксперимента оценивалось влияние суммарной крутильной жесткости элементов дробилки, длины зуба звездочки ротора и угловой скорости вращения ротора.

Опыты проводились согласно матрице центрального композиционного ротатабельного униформпланирования эксперимента, которая представлена в таблице 2. Общее число опытов [8]:



$$N = 2^k + 2k + k_0 = 20, \quad (3)$$

где  $k = 3$  – число факторов;  $2^k = 8$  – полный факторный эксперимент (ядро плана) представлен в строках 1...8 матрицы планирования;  $2k = 6$  – звездные точки, представлены в строках 9...14 матрицы планирования (величина звездного плеча  $\alpha = 2^{n/4} = 1,682$ );  $k_0 = 6$  – опыты в центре эксперимента (строки 15...20).

При обработке опытов определялись дисперсии воспроизводимости, проверка гипотез воспроизводимости опытов осуществлялась по критерию Кохрена путем сравнения рассчитанных значений и табличных, рассчитывались коэффициенты регрессий, а их значимость определялась с помощью критерия Стьюдента путем сравнения с табличным значением. Проверку адекватности аппроксимирующего полинома оказалось невозможно выполнить по традиционному критерию Фишера, так как при повторном техническом расчете ошибка отсутствует, поэтому степень рассеивания оценивали коэффициентом вариаций [9]:

$$\rho = \frac{1}{y_{cp}} \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (y_j - \bar{y}_j)^2}{N - \lambda}}, \quad (4)$$

где  $y_{cp} = b_0$  – среднее значение критерия оптимизации;  $N$  – число опытов;  $\lambda$  – число коэффициентов регрессии.

После проведения опытов была получена следующая адекватная математическая модель для коэффициента динамичности, которая с учетом только значимых членов уравнения регрессии имеет вид:

$$y_1 = 0,154 \times 10^{-3} x_2 + 0,538 \times 10^{-3} x_3. \quad (5)$$

Уравнение 5 имеет линейный характер, это связано с тем, что коэффициенты регрессий для квадратичных зависимостей факторов оказались незначимыми. Кроме того, незначимым является коэффициент регрессии для фактора  $x_1$ , он исключен из уравнения 5.

Для изучения влияния фактора  $x_3(\omega)$ , в отдельности, на функцию отклика  $y_1$  (коэффициент динамичности) по зависимости (5), полагаем значения фактора  $x_2(1)$  равными: - 1,682; 0; 1,682. Тогда (5) примет вид:

$$\begin{aligned}
y_{11} &= -0,260 \times 10^{-3} + 0,538 \times 10^{-3} x_3, \text{ (при } x_2 = -1,682); \\
y_{12} &= 0,538 \times 10^{-3} x_3, \text{ (при } x_2 = 0); \\
y_{13} &= 0,260 \times 10^{-3} + 0,538 \times 10^{-3} x_3, \text{ (при } x_2 = 1,682).
\end{aligned}
\tag{6}$$

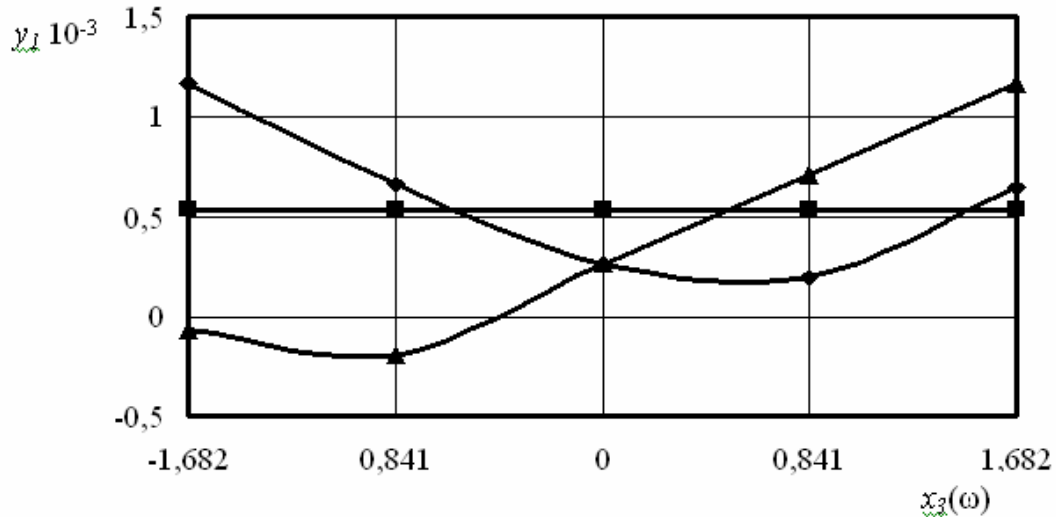


Рисунок 1 - Графики зависимостей  $y_{11} - y_{13}$  от угловой частоты вращения ротора  $x_3(\omega)$ :  $\blacklozenge$  -  $y_{11}$ ;  $\blacksquare$  -  $y_{12}$ ;  $\blacktriangle$  -  $y_{13}$ .

По уравнениям (6) определялись значения функций откликов  $y_{11} - y_{13}$  при моделировании работы дробилки (Рис. 1). Для этого значения аргументов полагались равными: -1,682; -0,841; 0; 0,841; 1,682.

Из графиков на рисунке 1 видно, что имеются минимумы функции отклика  $y_1$  от фактора  $x_3(\omega)$  (кривые  $y_{11}$  и  $y_{13}$ ), зависимость криволинейная. При значения фактора  $x_2(1)$  равными 0 зависимость приобретает прямолинейный характер (кривая  $y_{12}$ ).

Для изучения влияния фактора  $x_2(1)$ , в отдельности, на функцию отклика  $y_1$  (коэффициент динамичности) по зависимости (5), полагаем значения фактора  $x_3(\omega)$  равными: -1,682; 0; 1,682. В этом случае (5) запишется:

$$\begin{aligned}
y_1 &= 0,154 \times 10^{-3} x_2 - 1,013 \times 10^{-3}, \text{ (при } x_3 = -1,682); \\
y_1 &= 0,154 \times 10^{-3} x_2, \text{ (при } x_3 = 0); \\
y_1 &= 0,154 \times 10^{-3} x_2 + 0,905 \times 10^{-3}, \text{ (при } x_3 = 1,682);
\end{aligned}
\tag{7}$$

По уравнениям (7) строились графики функций откликов  $y_{14} - y_{16}$ . При этом значения аргументов полагались равными (рисунок 2): -1,682; -0,841; 0; 0,841; 1,682.

Из рисунка 2 видно, что графики функции отклика  $y_1$  от фактора  $x_2(l)$  (кривые  $y_{14} - y_{15}$ ), носят прямолинейный характер. Это говорит о слабом влиянии величины длины зуба на работу одновалковой дробилки, так как оптимумы отсутствуют.

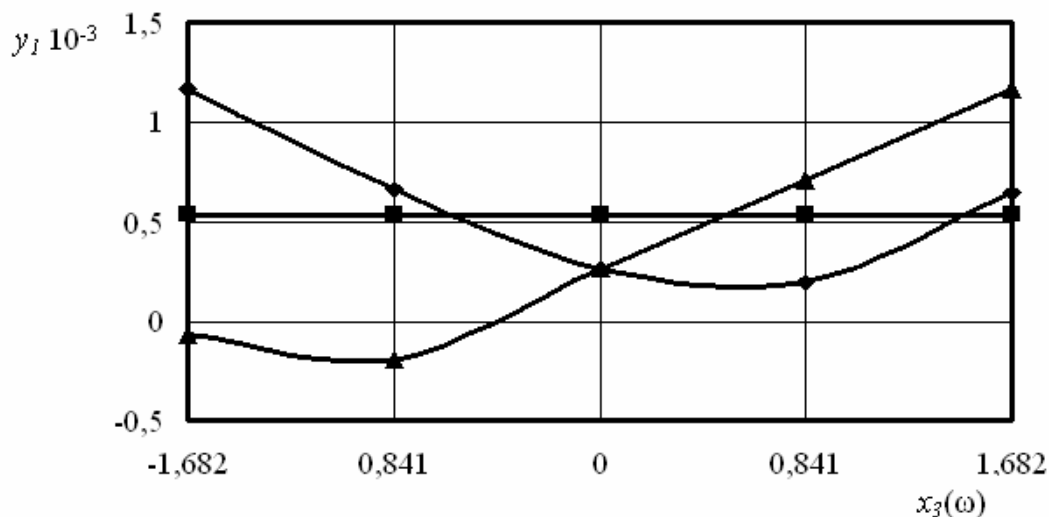


Рисунок 1 - Графики зависимостей  $y_{11} - y_{13}$  от угловой частоты вращения ротора  $x_3(\omega)$ : ◆ -  $y_{11}$ ; ■ -  $y_{12}$ ; ▲ -  $y_{13}$ .

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Повышение эффективности процесса дробления агломерационного спека и улучшения свойств готового агломерата возможно путем интенсификации условий дробления за счет повышения угловой скорости вращения ротора. При этом возможны резонансные режимы работы дробилки. Для определения математической модели коэффициента динамичности на основе многомассной модели применено центральное композиционное униформпланирование второго порядка

При дальнейших исследованиях планируется выполнить оптимизацию полученной функции отклика математическим путем.

### Библиографический список

1. Борискин И.К. Интенсивная механическая обработка агломерата. Теория, оборудование, технология / И.К. Борискин, Г.А.Арыков, А.Н. Пыриков - М.: МИСИС, 1998. - 248 с.

2. Левченко О.О. Модернізація типової конструкції одновалкової зубчастої дробарки з метою підвищення якості готового агломерату / О.О. Левченко, С.О. Куценко. // Сб. научн. тр. ДонГТУ. Вып 22. – Алчевск: ДонГТУ, 2006. – С. 196 – 203.

3. Технология производства офлюсованного железорудного агломерата для реконструируемой аглофабрики Алчевского металлургического комбината с установкой новых агломашин на базе МАК-90 и

ленточных охладителей. Технологическое задание. Шифр 825/92. ДОННИИЧЕРМЕТ. – Донецк, 1992.

4. Федоровский Н.В. Агломерация железных руд: справочник / Н.В. Федоровский, Д.И. Шанидзе. – К.: Техника, 1991. - 141с.

5. Левченко О.О. Аналіз умов подання пирога агломерату в одновалкову зубчасту дробарку / О.О. Левченко. // Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск: ДонГТУ, 2005. - Вып 19. – С. 323 – 330.

6. Левченко О.А. Оптимизация крупности готового агломерата при его дроблении в одновалковой зубчатой дробилке / О.А. Левченко // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – Санкт-Петербург, 2005. – Т. 11, № 4 (100). – С. 84-87.

7. Левченко О.О. Аналіз можливостей та шляхи покращення конструкції одновалкової зубчастої дробарки для гарячого агломерату / О.О. Левченко. Матеріали 6-ї щорічної промислової конференції "Ефективність реалізації наукового, ресурсного і промислового потенціалу". – Славське: 2006. – С. 106-108.

8. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.

9. Неженцев А.Б. Исследование энергопотребления при динамическом торможении мостового крана / А.Б. Неженцев, М.С. Харитонов, С.М. Аветисян // Вісник Східноукраїнського національного університету. – Луганськ, 2001. – № 11 (45). – С. 96–102.

**Рекомендовано к печати к.т.н., проф. Ульяницким В.Н.**