

*к.т.н, доц. Сидоров В.А.
(ДонНТУ, Донецк, Украина),
ассистент Левченко О.А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДАЧИ АГЛОМЕРАЦИОННОГО ПИРОГА В ОДНОВАЛКОВУЮ ЗУБЧАТУЮ ДРОБИЛКУ

Отримана математична модель, яка описує зміну мінімальної відстані пройденної аглоспеком, що необхідна для накопичення їм енергії для можливості перевертання.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Одной из наиболее распространенной среди 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]. Однако при температуре агломерата свыше 800 °С нижний слой пирога поступает в дробилку в пластическом состоянии [3]. Это значительно снижает эффективность дробления, так как он играет роль демпферной подушки, а энергия дробления частично расходуется на сжатие пластичного слоя, что снижает долю сил полезного сопротивления и увеличивает работу сил вредного сопротивления. Предлагается подавать агломерационный пирог в дробилку более нагретой (нижней) стороной вверх. При этом зубья ротора свободно проходят пластичный слой, а потом воздействуют на твердый слой – эффективность дробления повышается, а удар, возникающий при переворачивании, способствует предварительному разрушению пирога, причем без лишних затрат энергии.

Анализ исследований и публикаций. Проведенными ранее исследованиями [4] выявлено, что для реализации процесса переворачивания аглопирога под действием накопленной энергии при движении по наклонной направляющей (рисунок 1) он должен пройти определенный путь, который определяется зависимостью:

$$s_0 = \frac{\sqrt{h^2 + L^2} (1 - \sin(\arctg \frac{h}{L} + \alpha))}{2(\sin \alpha - f \cos \alpha) \sin^2 \arctg \frac{h}{L}} + \frac{L}{2}, \quad (1)$$

где h – высота спекания агломерата (толщина пирога);
 L – длина пирога;
 φ – угол наклона направляющей;
 f – коэффициент трения агломерата по стали.

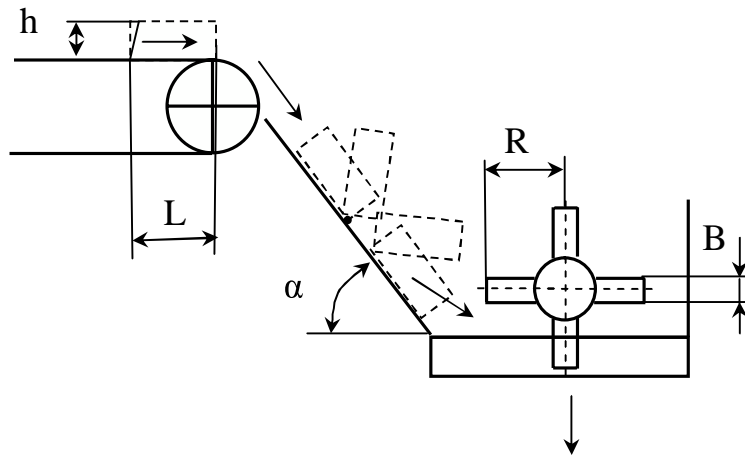


Рисунок 1 – Схема процесса переворачивания агломерата

Постановка задачи. Задачей публикации является разработка математической модели, описывающей влияние параметров аглопирога и направляющей на минимальную величину пути, пройденного агломератом по наклонной направляющей, что гарантирует его переворачивание за счет накопленной им при движении энергии.

Изложение материала и его результаты. Изучение влияния параметров аглопирога и направляющей на минимальную длину пути пройденного по наклонной направляющей проводилось по зависимости (1).

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 [5].

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

Таблица 1 – Интервалы варьирования факторов

Параметры	Факторы		
	Высота аглоспека, $x_1(h)$, м	Длина аглоспека, $x_2(L)$, м	Угол наклона на- правляющей $x_3(\alpha)$, °
Основной уровень, $x_i=0$	0,38	0,75	52,50
Интервал варьирования, I	0,07	0,15	4,46
Верхний уровень, $x_i= +1$	0,45	0,90	56,96
Нижний уровень, $x_i= -1$	0,31	0,60	48,04
Верхняя звездная точка, $x_i= +1,682$	0,50	1,00	60,00
Нижняя звездная точка, $x_i= -1,682$	0,25	0,50	45,00

Функцией отклика являлась минимальное значение величины пути пройденного аглоспеком по наклонной направляющей. При постановке эксперимента оценивалось влияние высоты и длины пирога агломерата, и угла наклона направляющей по которой он поступает в дробилку. Применялось центральное композиционное ротатабельное униформпланирование (таблица 2). Общее число опытов [5]:

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

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 $\alpha=2^{1/4}=1,682$);

$k_0 = 6$ – опыты в центре эксперимента (строки 15...20).

Определялись дисперсии воспроизводимости, проверка гипотез воспроизводимости опытов осуществлялась по критерию Кохрена, рассчитывались коэффициенты регрессий, а их значимость определялась с помощью критерия Стьюдента. 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 [6]

Таблица 2 - Центральное композиционное ротатабельное униформпланирование второго порядка

№ П/П	X ₀	X ₁ (h)	X ₂ (L)	X ₃ (α)	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	-1
4	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1
5	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1
6	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1
7	+1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	+1
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1
9	+1	-1,682	0	0	2,829	0	0	0	0	0
10	+1	+1,682	0	0	2,829	0	0	0	0	0
11	+1	0	-1,682	0	0	2,829	0	0	0	0
12	+1	0	+1,682	0	0	2,829	0	0	0	0
13	+1	0	0	-1,682	0	0	2,829	0	0	0
14	+1	0	0	+1,682	0	0	2,829	0	0	0
15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

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

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

Была получена адекватная математическая модель:

$$y = 0,445 - 0,095x_1 + 0,219x_2 - 0,104x_3 - 0,091x_1x_2 + 0,069x_1x_3 - \\ - 0,089x_2x_3 + 0,023x_1^2 + 0,036x_2^2 + 0,039x_3^2 \quad (2)$$

Уравнение 2 квадратичного характера, все факторы значимые.

Для изучения влияния факторов $x_1(h)$, $x_2(L)$, $x_3(\alpha)$ в отдельности, на функцию отклика y (минимальное расстояние) по зависимости (2), полагаем значения двух других факторов: - 1,682; 0; 1,682 соответственно. Тогда (2) примет вид:

$$y_1(h) = 0,212 + 0,058x_1 + 0,023x_1^2, \text{ (при } x_2(L) = x_3(\alpha) = -1,682);$$

$$y_2(h) = 0,445 - 0,095x_1 + 0,023x_1^2, \text{ (при } x_2(L) = x_3(\alpha) = 0);$$

$$y_3(h) = 0,598 - 0,132x_1 + 0,023x_1^2, \text{ (при } x_2(L) = x_3(\alpha) = 1,682);$$

$$y_4(L) = 1,15 + 0,522x_2 + 0,036x_2^2, \text{ (при } x_1(h) = x_3(\alpha) = -1,682);$$

$$y_5(L) = 0,445 + 0,219x_2 + 0,036x_2^2, \text{ (при } x_1(h) = x_3(\alpha) = 0); \quad (3)$$

$$y_6(L) = 0,480 - 0,084x_2 + 0,036x_2^2, \text{ (при } x_1(h) = x_3(\alpha) = 1,682);$$

$$y_7(\alpha) = 0,147 - 0,070x_3 + 0,039x_3^2, \text{ (при } x_1(h) = x_2(L) = -1,682);$$

$$y_8(\alpha) = 0,445 - 0,104x_3 + 0,039x_3^2, \text{ (при } x_1(h) = x_2(L) = 0);$$

$$y_9(\alpha) = 0,563 - 0,138x_3 + 0,039x_3^2, \text{ (при } x_1(h) = x_2(L) = 1,682).$$

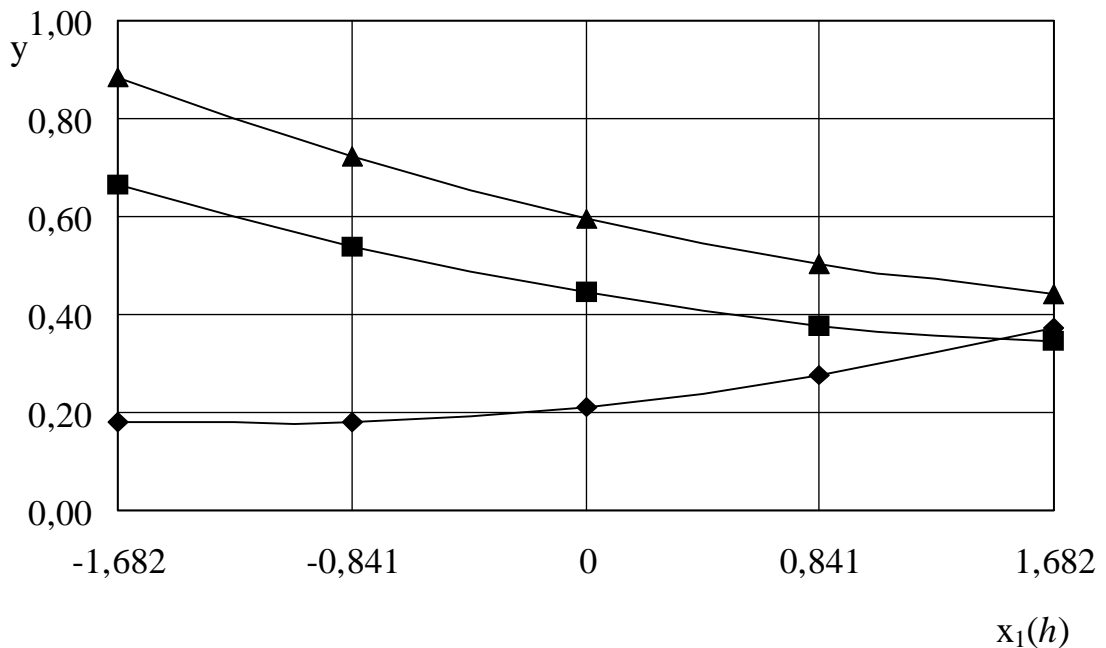


Рисунок 2 - Графики зависимостей $y_1 - y_3$ от высоты пирога $x_1(h)$
 ◆ - y_1 ($x_2=x_3=-1,682$); ■ - y_2 ($x_2=x_3=0$); ▲ - y_3 ($x_2=x_3=1,682$)

По уравнениям (3) определялись значения функций откликов $y_1 - y_9$ при моделировании процесса переворачивания. Для этого значения аргументов полагались равными: -1,682; -0,841; 0; 0,841; 1,682. Графики зависимостей представлены на рисунках 2 – 4.

Из графиков на рис. 2 видно, что функция отклика y от фактора (толщина зуба) $x_1(h)$ (кривые $y_1 - y_2$) зависит криволинейно и с увеличением высоты пирога убывает, а y_3 - возрастает.

Из рисунка 3 видно, что графики функции отклика $y_4 - y_6$ от фактора $x_2(L)$ (кривые $y_4 - y_5$), носят криволинейный возрастающий характер, а y_6 слабо убывает и при значении 0,841 практически не изменяется.

Графики на рисунке 4 показывают, что функция отклика y от фактора, характеризующего наклон направляющей плоскости $x_3(\alpha)$ имеют криволинейную зависимость с убыванием y при увеличении $x_3(\alpha)$. Таким образом, для повышения вероятности переворачивания агломерационного спека при движении по наклонной направляющей следует увеличивать. Значение фактора $x_3(\alpha)$ равное 0,841 соответствует минимальному значению пройденного пути и дальнейшее увеличение угла наклонной направляющей влияния почти не оказывает.

При переходе к натуральным значениям факторов можно использовать зависимости [7]:

$$x_1=(h-0,38)/0,07; \quad x_2=(L-0,75)/0,15; \quad x_3=(\alpha-52,5)/4,46.$$

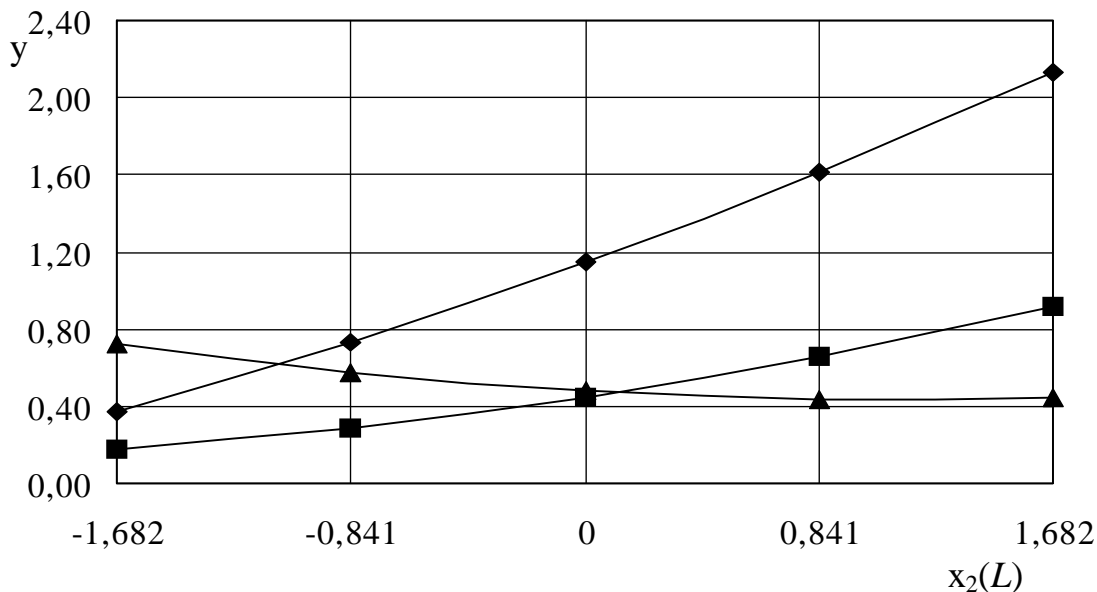


Рисунок 3 - Графики зависимостей $y_4 - y_6$ от длины аглоспека $x_2(L)$:
 ◆ - y_4 ($x_1=x_3=-1,682$); ■ - y_5 ($x_1=x_3=0$); ▲ - y_6 ($x_1=x_3=1,682$)

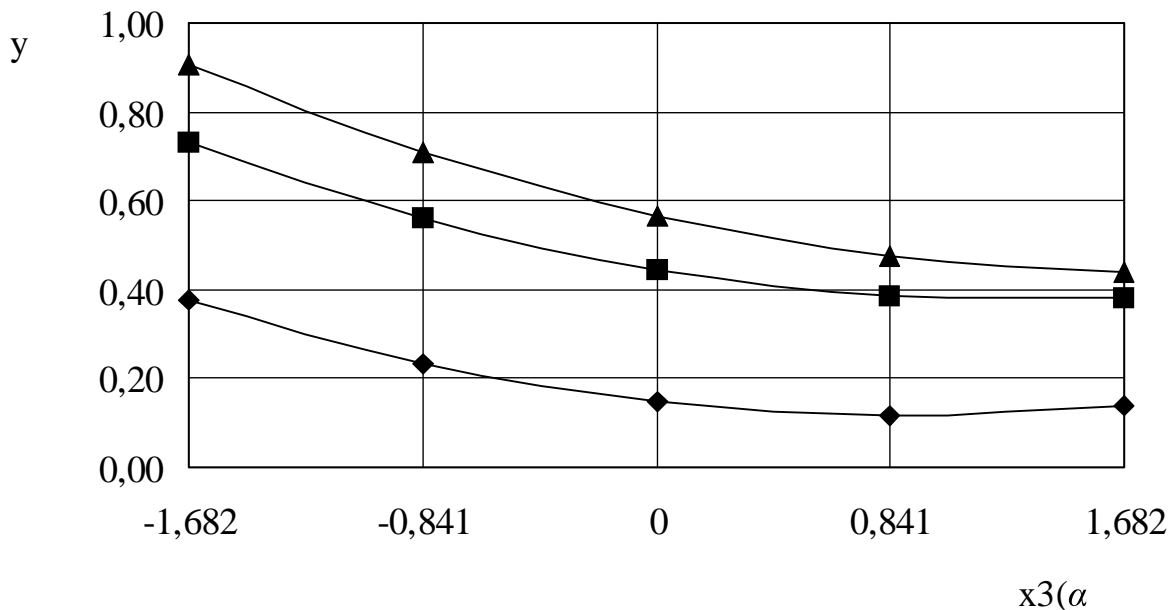


Рисунок 4 - Графики зависимостей $y_6 - y_9$ от угла наклона направляющей $x_3(\alpha)$: ◆ - y_7 ($x_1=x_2=-1,682$); ■ - y_8 ($x_1=x_2=0$); ▲ - y_9 ($x_1=x_2=1,682$)

Выводы и направления дальнейших исследований. Повышение эффективности процесса дробления агломерационного спека возможно путем подачи аглоспека в дробилку более нагретой стороной вверх. Для определения математической модели переворачивания аглоспека применено центральное композиционное униформпланирова-

ние второго порядка, при этом уравнение регрессии в кодированном виде имеет вид:

$$y = 0,445 - 0,095x_1 + 0,219x_2 - 0,104x_3 - 0,091x_1x_2 + 0,69x_1x_3 - 0,89x_2x_3 + 0,023x_1^2 + 0,36x_2^2 + 0,039x_3^2.$$

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

Получена математическая модель, описывающая изменение минимального расстояния пройденного агломератом, необходимого для накопления им энергии для возможности переворачивания.

A mathematical model, describing the change of minimum distance passed an agglomerate necessary for an accumulation by him energies for possibility of inverting, is got.

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 зубчастой 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. Левченко О.А. Анализ условий переворачивания аглоспека / О.А. Левченко, В.А. Сборник научных трудов ДонГТУ. Вып 24. – Алчевск: ДонГТУ, 2007. - С 284 – 290.

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

6. 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. Ульяницьким В.Н.