

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ФАКТОРОВ ВАЛЬЦОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ НА ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА ОЗИМОЙ РЖИ

Шило И.Н., д.т.н., проф., Савиных В.Н., к.т.н., Воробьев Н.А., к.т.н., доц., Гуд А.В. (БГАТУ, Минск)

Введение

Режимные факторы вальцового измельчителя оказывают существенное влияние на фракционный состав измельченного зерна. Цель данной работы – исследовать влияние окружной скорости быстро вращающегося вальца, отношения окружной скорости быстро вращающегося вальца к медленно вращающемуся вальцу и зазора между вальцами на фракционный состав измельченного зерна озимой ржи.

Основная часть

Исследования проводились на экспериментальном вальцовом измельчителе на вальцах с шагом рифлей 3,5 мм, углом острия 30° на зерне озимой ржи влажностью 14,7% , при изменении зазора между вальцами от 0,2 до 0,8 мм, окружной скорости быстро вращающегося вальца от 9,1 до 19,1 м/с и отношении окружных скоростей от 1,4 до 2,6.

Фракционный состав измельченного зерна анализировали ситовым методом на классификаторе РКФ-1, с рассевом проб на ситах с отверстиями 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; и 3,0 мм. Сход с сит взвешивали на весах ВЛТК – 500 с точностью 0,01 г.

Для определения зависимости размера частиц измельченного зерна озимой ржи от изучаемых факторов нами реализован ортогональный центрально – композиционный план. Значения факторов в кодированном и натуральном виде приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значение факторов в кодированном и натуральном виде

Факторы	Обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов				
			-1,215	-1	0	+1	+1,215
Зазор B , мм	X_1	0,25	0,2	0,25	0,5	0,75	0,8
Скорость V_6 , м/с	X_2	4,1	9,1	10,0	14,1	18,2	19,1
Отношение скоростей, i	X_3	0,5	1,4	1,5	2,0	2,5	2,6

Проведенный ситовый анализ позволяет определить средний весовой выход классов разной крупности и рассчитать суммарный выход по плюсу или минусу, показывающий сколько продукта от всей пробы больше данного размера, а также построить гистограмму распределения частиц представляющую собой ступенчатый график из прямоугольников, основанием которых служат интервалы крупности, а высотами – весовой выход на единицу длины интервала. На рисунке 1 представлены усредненная гистограмма распределения частиц по крупности и кривые суммарного выхода по плюсу и минусу.

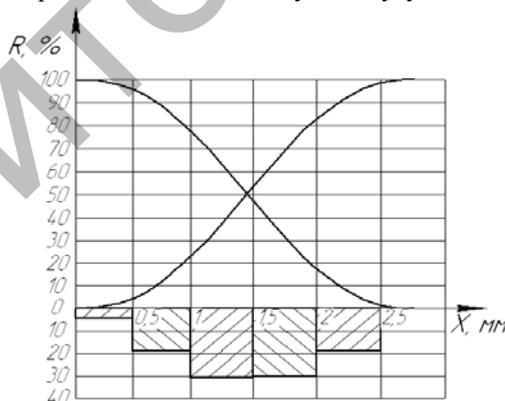


Рисунок 1 – Гистограмма распределения частиц по интервалам крупности и суммарные кривые выхода по плюсу и минусу измельченного зерна ржи при зазоре между вальцами 0,25 мм, окружной скорости быстро вращающегося вальца 10 м/с и отношения скоростей 1,5.

Для описания экспериментальных данных гранулометрического состава продуктов размолта нами использовано уравнение Розина - Рамллера [1]

$$\frac{\partial w}{\partial x} = 100kbx^{k-1}e^{-bx^k}, \quad (1)$$

которое более широко известно в форме уравнения суммарной кривой по плюсу

$$R = 100e^{-bx^k}, \quad (2)$$

где ∂_w – вес частиц в бесконечно малом интервале крупности частиц ∂x ;
 k – показатель характеризующий рассеяние частиц по крупности;
 x – текущий размер частиц;
 R – суммарный выход частиц крупнее размера x ;
 b – постоянный коэффициент.

Принимая $b = \frac{1}{x_e^k}$ и дважды логарифмируя выражение (2), получим:

$$\ln \ln \frac{100}{R} = k \ln x - k \ln x_e, \quad (3)$$

то есть, в координатах $\ln \ln 100/R - \ln x$ (см. рисунок 2) уравнение (3) спрямляется. Параметр k определяется как тангенс угла наклона прямой, x_e – как размер частиц, соответствующий выходу 36,8%.

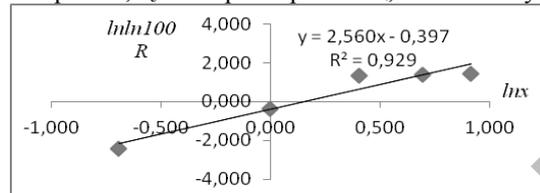


Рисунок 2 – График распределения частиц по крупности в логарифмических координатах при зазоре между вальцами 0,25 мм, окружной скорости быстро вращающегося вальца 18,2 м/с и отношения скоростей 2,5.

Для определения постоянных k и $\ln x_e$ по экспериментальным данным применим метод наименьших квадратов, тогда

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n \ln \ln \frac{100}{R_i} \ln x_i - \sum_{i=1}^n \ln \ln \frac{100}{R_i} \sum_{i=1}^n \ln x_i}{\sum_{i=1}^n \ln^2 x_i - \left(\sum_{i=1}^n \ln x_i \right)^2}; \quad (4)$$

$$k \ln x_e = \frac{\sum_{i=1}^n \ln \ln \frac{100}{R_i} \ln^2 x_i - \sum_{i=1}^n \ln \ln \frac{100}{R_i} \ln x_i \sum_{i=1}^n \ln x_i}{\sum_{i=1}^n \ln^2 x_i - \left(\sum_{i=1}^n \ln x_i \right)^2}. \quad (5)$$

Число $k \ln x_e$ является свободным членом уравнения (3), его можно определить через найденное k , тогда:

$$\ln x_e = \frac{1}{nk} \sum_{i=1}^n \ln \ln \frac{100}{R_i} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i \quad (6)$$

Уравнение (6) можно переписать в виде:

$$\ln \ln \frac{100}{R_i} = k \ln x_i - k \ln x_e, \quad (7)$$

отсюда вытекает, что средняя точка $(\overline{\ln \ln \frac{100}{R_i}}, \overline{\ln x_i})$ всегда лежит на линии регрессии и для

определения линии регрессии достаточно знать её угловой коэффициент k .

Результаты обработки экспериментов по изучению влияния режимных факторов на характеристики фракционного состава измельченного зерна ржи k и x_e согласно матрице планирования предоставлены в таблице 2.

Проведена проверка дисперсии выборок расчетных значений коэффициента k на однородность по критерию Кохрана [2] и в качестве их общей оценки рассчитана средневзвешенная дисперсия S_{ok}^2 . Проведена проверка на наличие промахов в определении коэффициента k по критерию τ_y [3], которая показала, что

$$\left| \frac{k - k'}{S} \right| = \frac{2,62 - 2,56}{0,0041} = 1,46 < t_{45;0,95} = 2,76;$$

где k', k – среднее и крайнее значение коэффициента,

S_{ok}^2 – среднеквадратичное отклонение.

Это указывает на совместимость расчетных значений коэффициентов k единой выборке и в качестве ее общей оценки может быть принято среднее значение $\bar{k}_0 = 2,56$, тем более, что

$$\frac{\bar{S}^2}{S_{ok}^2} = \frac{0,0029}{0,0017} = 1,71 < F_{0,95;14;45} = 1,9$$

где S^2 – дисперсия среднего

$$\bar{S}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N n_i (\bar{k}_i - \bar{k})^2.$$

Доверительный интервал составит

$$\Delta k = t_{14,0,95} \frac{\bar{S}}{\sqrt{N}} = 2,15 \frac{0,054}{\sqrt{15}} = 0,03;$$

$$2,53 \leq k_0 \leq 2,59.$$

Таблица 2 – Матрица планирования и результаты обработки экспериментов по изучению влияния режимных факторов на характеристики k и x_e фракционного состава измельченного зерна ржи.

План эксперимента и результаты опытов									
№	X_0	X_1	X_2	X_3	$X^2_{2-\lambda}$	$\bar{X}e_j$	S^2_j	k	S^2_{kj}
1	+	-	-	-	0,2697	0,61	0,010	2,59	0,0028
2	+	+	-	-	0,2697	0,51	0,012	2,55	0,0019
3	+	-	+	-	0,2697	0,85	0,004	2,51	0,0014
4	+	+	+	-	0,2697	0,78	0,021	2,61	0,0015
5	+	-	-	+	0,2697	0,72	0,009	2,53	0,0010
6	+	+	-	+	0,2697	0,63	0,008	2,62	0,0013
7	+	-	+	+	0,2697	0,92	0,004	2,56	0,0018
8	+	+	+	+	0,2697	0,88	0,002	2,57	0,0013
9	+	-1,215	0	0	-0,7303	0,87	0,003	2,55	0,0015
10	+	1,215	0	0	-0,7303	0,79	0,003	2,50	0,0020
11	+	0	-1,215	0	0,7469	0,56	0,007	2,59	0,0022
12	+	0	1,215	0	0,7469	0,88	0,006	2,55	0,0018
13	+	0	0	-1,215	-0,7303	0,73	0,001	2,56	0,0022
14	+	0	0	1,215	-0,7303	0,84	0,001	2,55	0,0020
15	+	0	0	0	-0,7303	0,83	0,008	2,56	0,0010
$\sum_{j=1}^{15} X_j^2$	15	10,9545	10,9545	10,9545	4,3644	$t_{45,0,95} = 2,014$	$\sum_{j=1}^{15} S^2 = 0,08$	$\varphi = 0,01$	$\sum_{j=1}^{15} S^2 = 0,0257$
b	0,759	-0,036	0,121	0,048	-0,07		$S^2_{\bar{a}\bar{m}\bar{d}} = 0,0055$	$F_{\bar{y}} = 2,58$	$S^2_{\bar{a}\bar{m}\bar{d}} = 0,0017$
$S^2(b)$	0,00009	0,0001246	0,000125	0,000125	0,000313		$G_{\bar{y}} = 0,149$	$F_{3,45,0,95} = 2,648$	$G_{\bar{y}} = 0,108$
$S(b)$	0,0095	0,01116	0,01117	0,01117	0,01780		$G_{3,15,0,95} = 0,276$	Модель адекватна	$G_{3,15,0,95} = 0,276$
Δb	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04		Дисперсии однородны	$S^2_{\bar{a}\bar{a}} = 0,0021$	$S^2_{\bar{a}\bar{a}} = 0,0031$

Проведено вычисление выборочного среднего x_e , вычислены дисперсии, проведена проверка дисперсии выборок на однородность, рассчитаны коэффициенты уравнения регрессии и определена их значимость.

Получено адекватное уравнение регрессии для размера частиц, крупнее которого оказывается 36,8% материала, от зазора между вальцами, окружной скорости быстро вращающегося вальца и отношения окружных скоростей валцов:

$$x_e = 0,81 - 0,036X_1 + 0,121X_2 + 0,048X_3 - 0,07X_2^2 \quad (8)$$

После подстановки найденных значений k и x_e , уравнение (2) суммарной кривой весового выхода классов разной крупности продуктов размола по плюсу примет вид:

$$R = 100 \exp - \left(\frac{x}{0,81 - 0,036X_1 + 0,121X_2 + 0,048X_3 - 0,07X_2^2} \right)^{2,56} \quad (9)$$

Данное выражение позволяет найти суммарный весовой выход классов разной крупности продуктов размола в зависимости от окружной скорости быстро вращающегося вальца, отношение окружных скоростей валцов и зазора между вальцами.

Заключение

В результате исследований получено уравнение влияния основных режимных факторов вальцового измельчителя на гранулометрический состав. Уравнение позволяет определить весовой выход каждого класса по толщине измельченного материала в зависимости от параметров и режимов работы машины.

Литература

- С.А. Андреев, В.В. Товаров, В.А. Петров Закономерности измельчения и исчисления характеристик гранулометрического состава. ГНТИ литература на черной и цветной металлургии. М., 1959.
- Пустыльник Е.И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. Изд. «Наука», М. 1968. с. 235.
- Леонов А.Н., Дечко М.М., Ловкис В.Б. Основы научных исследований и моделирования: учебно-методический комплекс/ А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис, - Минск : БГАТУ, 2010. – 276 с.