

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РАДИУСА КРИВИЗНЫ ЛОПАТОК РОТОРА-ВЕНТИЛЯТОРА ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ЗЕРНА

Ключевые слова: дробилка зерна, критерии оптимизации, модели регрессии, радиус кривизны, ротор-вентилятор.

Аннотация. В статье представлены результаты исследования рабочего процесса дробилки с ротором-вентилятором при измельчении зерна.

На лабораторной установке [1, с. 9], состоящей из дозатора, зерноприемника, двух материалопроводов, дробилки и осадителя (рис.1), проведены эксперименты по изучению рабочего процесса измельчения зерна.



Рисунок 1 – Общий вид лабораторной установки

Работа установки осуществляется следующим образом. Исходный материал загружался и подавался в дробилку при помощи дозатора. Необходимую подачу осуществляли заслонкой по тарифовочной таблице. Зерно из дозатора поступало в зерноприёмник и далее по гибкому пневмопроводу – на измельчение в дробилку с ротором-

вентилятором. Измельченный материал потоком воздуха транспортировался в осадитель по гибкому пневмопроводу.

В процессе проведения экспериментальных исследований использовались различные приборы и аппаратура. Электрическую мощность, потребляемую из сети переменного тока, измеряли с помощью токоизмерительных клещей MastechMS2203. Рассев и взвешивание проб готового продукта осуществляли с помощью лабораторного рассева РЛ-1 и весов ВК-300.01.

Для определения влияния конструктивных факторов на показатели работы дробилки после проведения поисковых экспериментов реализован план Бокса – Бенкена для четырех факторов:

- x_1 – подача материала Q , кг/ч;
- x_2 – диаметр кольца ротора D_k , мм (рис. 2);
- x_3 – радиус кривизны лопаток ρ , мм (рис. 2, 3);
- x_4 – диаметр отверстий решета d_p , мм.

Подачу материала Q задавали равной 180 кг/ч (нижний уровень), 230 кг/ч (основной уровень) и 280 кг/ч (верхний уровень), исходя из максимальной пропускной способности дробилки. Диаметр кольца ротора D_k , задавали равным 100, 120 и 140 мм, исходя из геометрических параметров дробильной камеры. Радиусы кривизны лопаток были приняты согласно результатам поисковых опытов 40, 50 и 60 мм для нижнего, основного и верхнего уровней варьирования. Диаметр отверстий решета d_p принимали равным 3, 4 и 5 мм.

В ходе исследований оценивалось влияние изучаемых факторов на следующие критерии оптимизации:

- качество получаемого продукта, характеризуемое: \bar{y}_1 – процентным содержанием целых зёрен m_1 , \bar{y}_2 – пылевидной фракции m_2 и \bar{y}_3 – остатком на сите с отверстиями диаметром 3 мм m_3 , % в готовом продукте;

- \bar{y}_4 – удельные энергозатраты \mathcal{E} , $\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т} \cdot \text{ед.ст.изм.}}$;
- \bar{y}_5 – степень измельчения λ ;
- \bar{y}_6 – средний размер измельченных частиц d_{cp} , мм.

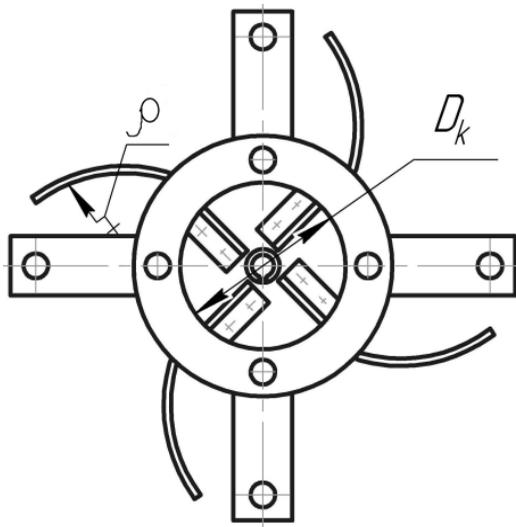


Рисунок 2 – Ротор-вентилятор

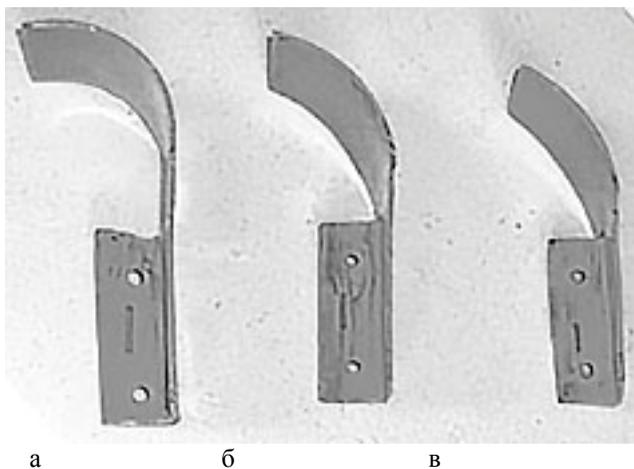


Рисунок 3 – Общий вид исследуемых лопаток ротора-вентилятора:
 а – радиус кривизны 40 мм; б – радиус кривизны 50 мм;
 в – радиус кривизны 60 мм

Исследования проводили на зерне ячменя сорта Эльф с эквивалентным диаметром 4,21 мм, влажностью 13...14 %.

Таблица 1 – Матрица плана и результаты эксперимента

№	Фактор				Критерий оптимизации					
	Q , кг/ч	D_k , мм	ρ , мм	d_p , мм	m_1 , %	m_2 , %	m_3 ,%	Ξ , $\frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}\cdot\text{единица}}$	λ	d_{cp} , мм
	x_1	x_2	x_3	x_4	\bar{y}_1	\bar{y}_2	\bar{y}_3	\bar{y}_4	\bar{y}_5	\bar{y}_6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,53	6,12	1,61	2,61	1,64
2	-1,0	-1,0	0,0	0,0	1,41	0,63	4,58	2,7	2,8	1,52
3	1,0	-1,0	0,0	0,0	1,57	0,66	2,93	1,64	2,61	1,62
4	-1,0	1,0	0,0	0,0	1,55	0,64	2,47	2,47	2,7	1,57
5	1,0	1,0	0,0	0,0	1,17	0,96	4,11	2,09	2,9	1,46
6	0,0	0,0	-1,0	-1,0	2,4	0,9	7,24	2,52	2,84	1,49
7	0,0	0,0	1,0	-1,0	1,45	1,05	4,76	2,56	3,12	1,36
8	0,0	0,0	-1,0	1,0	6,08	0,37	17,24	3,79	2,22	1,92
9	0,0	0,0	1,0	1,0	11,8	0,47	34,57	5,05	1,8	2,36
10	-1,0	0,0	0,0	-1,0	1,03	1,14	3,5	3,23	3,23	1,31

Продолжение таблицы 1

23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
0,0	1,0	-1,0	1,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	-01,0	1,0
-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	-1,0	1,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	1,0	1,0	-1,0	-1,0	1,0	1,0	-1,0	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	-1,0
0,9	1,15	1,49	1,79	2,13	1,73	2,04	1,22	1,52	1,6	10,2	10,1	1,06
1,48	0,04	0,06	0,48	0,53	0,52	0,04	1,01	0,5	0,53	0,28	0,25	1,79
3,04	4,09	4,75	4,68	6,69	4,23	5,23	4,41	5,46	6,12	29,57	29,56	3,4
2,35	2,55	4,33	1,55	2,68	2,75	3,32	1,79	2,11	1,61	2,33	5,7	1,66
3,29	2,92	2,87	2,8	2,61	2,87	2,8	2,82	2,66	2,61	1,87	1,77	3,36
1,29	1,45	1,47	1,51	1,62	1,47	1,5	1,5	1,59	1,64	2,27	2,27	1,26

Продолжение таблицы 1

24	0,0	1,0	0,0	-1,0	1,53	1,37	5,53	2,24	2,93	1,45
25	0,0	-1,0	0,0	1,0	12,5	0,18	36,18	4,35	1,73	2,45
26	0,0	1,0	0,0	1,0	8,24	0,55	23,56	3,48	2,05	2,07
27	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	0,53	6,12	1,61	2,61	1,64

После проведения опытов и обработки полученных результатов получены модели регрессии (при 95 % доверительной вероятности):

$$\bar{y}_1 = 1,6 + 4,23 \cdot x_4 - 1,24 \cdot x_2 \cdot x_4 + 1,688 \cdot x_3 \cdot x_4 + 4,045 \cdot x_4^2; \quad (1)$$

$$\bar{y}_2 = 0,53 + 0,13 \cdot x_2 - 0,133 \cdot x_3 - 0,469 \cdot x_4 + 0,301 \cdot x_4^2; \quad (2)$$

$$\bar{y}_3 = 4,8 + 11,934 \cdot x_4 - 3,778 \cdot x_2 \cdot x_4 + 4,953 \cdot x_3 \cdot x_4 + 11,218 \cdot x_4^2; \quad (3)$$

$$\bar{y}_4 = 1,81 - 0,774 \cdot x_1 + 0,845 \cdot x_4 + 0,426 \cdot x_1^2 - 0,45 \cdot x_1 \cdot x_4 + 0,685 \cdot x_3^2 + (4) \\ + 0,305 \cdot x_3 \cdot x_4 + 1,218 \cdot x_4^2;$$

$$\bar{y}_5 = 2,61 - 0,61 \cdot x_4 + 0,101 \cdot x_1^2 + 0,17 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0,175 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0,178 \cdot x_4^2; \quad (5)$$

$$\bar{y}_6 = 1,57 + 0,432 \cdot x_4 - 0,135 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0,071 \cdot x_3^2 + 0,143 \cdot x_3 \cdot x_4 + 0,209 \cdot x_4^2. \quad (6)$$

При максимальных значениях подачи материала и диаметра кольца количество целых зерен, не превышающее требования ГОСТ, наблюдалось при радиусе кривизны лопаток (54...60) мм и диаметре отверстий решета (3...4) мм. При этом количество пылевидной фракции составляло (0,6...1,2) %, а остаток на сите с отверстиями диаметром 3 мм – (4...8) %. Удельные энергозатраты составляли $(1,8...2,6) \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{т} \cdot \text{ед.ст.изм.}}$.

Значительное снижение пылевидной фракции наблюдалось при уменьшении диаметра кольца D_k . При фиксированных значениях $\rho = (54...60)$ мм, $d_p = (3...4)$ мм, $Q = 280$ кг/ч количество пылевидной фракции составляло для $D_k = 100$ мм – (0,3...1) %, $D_k = 120$ мм – (0,45...0,9) % (рис. 5). При этом содержание в готовом продукте целых зерен уменьшалось в два раза (рис. 4).

Значительное влияние на средневзвешенный размер готового продукта оказывает диаметр отверстий решета (рис. 6). На решете с диаметром отверстий 3 мм $d_{cp} = (1 \dots 1,3)$ мм, с диаметром отверстий 4 мм - $d_{cp} = (1,5 \dots 1,6)$ мм, с диаметром отверстий 5 мм - $d_{cp} = (2 \dots 2,3)$ мм. Но при использовании решет с диаметром отверстий 4 мм и 5 мм содержание целых зерен превышает нормы ГОСТ в 3...4 раза.

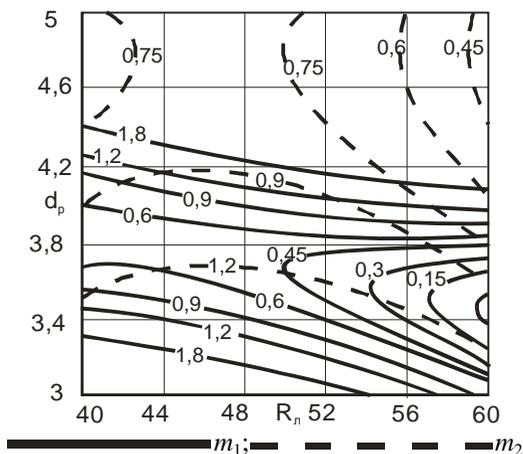


Рисунок4 – Влияние R_n и d_p на m_1 и m_2 при $D_k = 140$ мм, $Q = 280$ кг/ч

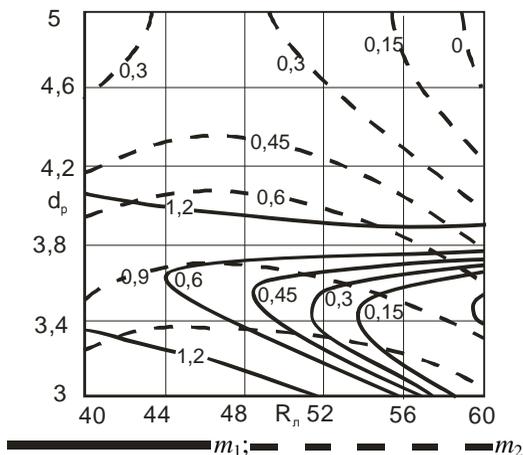


Рисунок5 – Влияние R_n и d_p на m_1 и m_2 при $D_k = 120$ мм, $Q = 280$ кг/ч

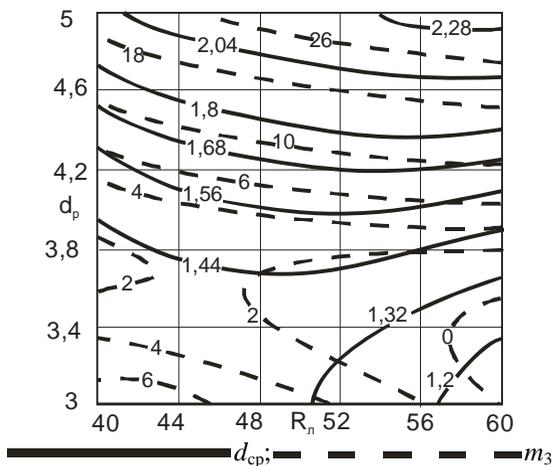


Рисунок6 – Влияние R_l и d_p (при $D_k = 120$ мм, $Q = 280$ кг/ч) на m_3 и d_{cp}

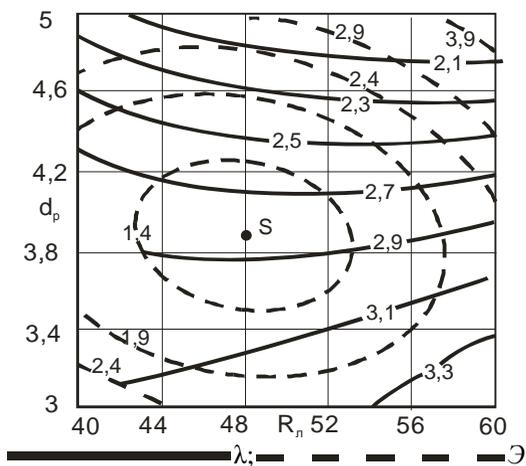


Рисунок7 – Влияние R_l и d_p (при $D_k = 120$ мм, $Q = 280$ кг/ч) на λ и $\lambda\dot{}$

По результатам проведенных исследований можно сделать выводы, что для достижения оптимальных условий рабочего процесса дробилки необходимо, чтобы диаметр кольца составлял 140 мм, радиус лопаток (50...60) мм. Подача материала должна быть максимальной. При данных значениях факторов содержание пылевидной фракции и целых зерен в готовом продукте, а также остаток на сите с диаметром

3 мм будет минимальным. При этом удельные энергозатраты, степень измельчения и средний размер готового продукта составят соответственно $(1,4\dots3,4)\frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{т}\cdot\text{ед.ст.изм.}}$, 2...3,5 и (1,2...2,3) мм в зависимости от диаметра отверстий решета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савиных П. А., Булатов С. Ю., Нечаев В. Н. Зернодробилка с ротором-вентилятором // Сельский механизатор. 2012. № 9. С. 9.

DETERMINATION OF THE OPTIMUM RADIUS OF CURVATURE ROTOR WITH FAN BLADES DURING GRAIN POUNDING

Keywords: grain crusher, rotor with fan, the radius of curvature, the regression model, the optimization criteria.

Annotation. The article presents the results of research of working process of grain crusher with rotor and fan during grain pounding.

НЕЧАЕВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ – преподаватель кафедры «Основы сельского хозяйства, химии и экологии», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (osnovsh@yandex.ru).

NECHAEV VLADIMIR NIKOLAEVICH –lecturer of the chair «Bases of agriculture, chemistry and ecology», Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute , Russia , Knyaginino, (osnovsh@yandex.ru).

РОМАНЫЧЕВ МИХАИЛ – студент 5 курса инженерного факультета, Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, (osnovsh@yandex.ru).

ROMANYCHEV MIKHAIL – a 5th year student of engineering faculty, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic Institute, Russia, Knyaginino, (osnovsh@yandex.ru).
