

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ  
КОНСТРУКТИВНЫХ ФАКТОРОВ ЛОПАТОК  
РОТОРА-ВЕНТИЛЯТОРА НА ПОКАЗАТЕЛИ  
РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДРОБИЛКИ**

***Ключевые слова:** молотковая дробилка, ротор-вентилятор, лопатка, аэродинамические характеристики, эксперимент, фактор.*

***Аннотация.** В статье представлены результаты экспериментов по влиянию конструктивных факторов лопаток ротора-вентилятора на рабочие характеристики дробилки.*

На сегодняшний день рынок предлагает огромное количество дробилок для измельчения зерна различных конструкций. Несомненным преимуществом среди прочих обладают дробилки зерна с пневматической загрузкой, так как они дешевле, и не требуют дополнительных машин для загрузки и разгрузки измельчаемого материала: забор зерна осуществляется непосредственно из буртов эжектором и за счет разрежения, создаваемого вентилятором, по материалопроводу подается в камеру измельчения дробилки.

Однако конструкции данных дробилок усложнены за счет постановки дополнительного рабочего органа – вентилятора. А в некоторых случаях ещё и постановкой дополнительной камеры для вентилятора.

Нами была разработана дробилка с ротором-вентилятором (рис. 1). Объединение двух узлов в одном позволит снизить металлоемкость, габариты и себестоимость дробилки, а также содержание пылевидных фракций за счет своевременного вывода измельченного продукта из камеры измельчения.

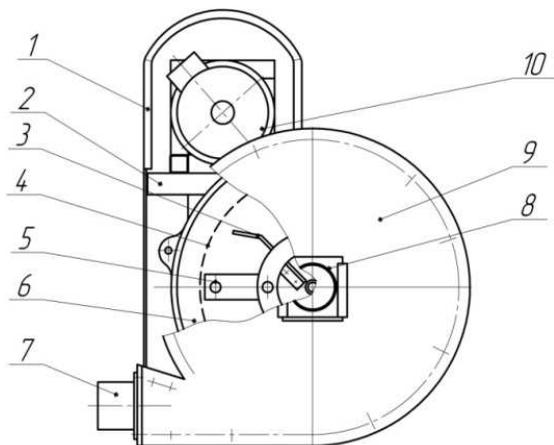


Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема молотковой дробилки: 1 – кожух; 2 – рама; 3 – вентилятор; 4 – решето; 5 – молотковый ротор; 6 – корпус; 7 – выгрузной патрубок; 8 – всасывающий патрубок; 9 – крышка; 10 – электродвигатель

На движение воздушно-продуктового потока во многом влияет межлопаточное пространство (канал), определяемое формой лопаток. В связи с этим нами были проведены исследования по изучению влияния формы лопаток на показатели рабочего процесса дробилки.

При проведении испытаний ротора-вентилятора использовались общеизвестные методики.

Скорость  $v$  и расход  $Q$  воздуха, полное давление  $P_v$ , создаваемое ротором-вентилятором, определяли диффе-

ренциальным манометром EtechHD350. Потребляемую электродвигателем дробилки во время рабочего процесса мощность  $W$  замеряли с помощью токоизмерительных клещей MastechMS2203. Замеры проводили согласно методике, изложенной в [1].

Расчёт гидравлической мощности производили по формуле:

$$N_r = Q \cdot P_v. \quad (1)$$

Коэффициент полезного действия рассчитывали по выражению:

$$\eta = \frac{Q \cdot P_v}{W}. \quad (2)$$

Исследования рабочего процесса дробилки проводили с применением методов теории планирования эксперимента, использование которых позволяет снизить затраты энергии и увеличить производительность труда исследователя за счёт значительного сокращения количества опытов, а, следовательно, времени и средств на проведение эксперимента.

Варьируемые факторы выбирались с учётом рекомендаций, данных в многочисленных работах по исследованиям рабочего процесса дробилок зерна.

Расчёт оценок коэффициентов регрессии математических моделей, оценку их значимости, проверку адекватности полученных моделей и построение двумерных сечений поверхностей откликов проводили на персональном компьютере с помощью программного приложения StatgraphicsPlus 3.0. для Windows. Доверительная вероятность расчетов составляла 95 %. Оценки коэффициентов регрессии считаются значимыми, если величина P-Value (р-значение), приведённая в таблице дисперсионного анализа не превышает 0,05. Об адекватности модели также судили по данным, приведённым в таблице дисперсионного анализа. Для этой же цели использовали дополнитель-

ный тест lack-of-fit. Если значение P-Value (р-значение) использованного дополнительного теста больше 0,05, то модель представляется адекватной для описания отклика.

Нами были проведены исследования рабочего процесса дробилки с разработанным ротором-вентилятором. В ходе исследований определяли влияние угла наклона загнутой части лопатки и соотношение длин загнутой части к общей длине лопатки на критерии оптимизации (рис. 2, 3). При этом была реализована матрица полного факторного эксперимента типа  $2^3$ . Исследовались три фактора: частота вращения  $n$  (фактор  $x_1$ ), соотношение длины загнутой части  $L_1$  к общей длине  $L$  лопатки (фактор  $x_2$ ), угол наклона загнутой части лопатки  $\alpha$  (фактор  $x_3$ ). В качестве критериев оптимизации выступили максимальный КПД ротора-вентилятора и удельные энергозатраты, необходимые на перемещение воздушного потока. Матрица плана представлена в таблице 1.

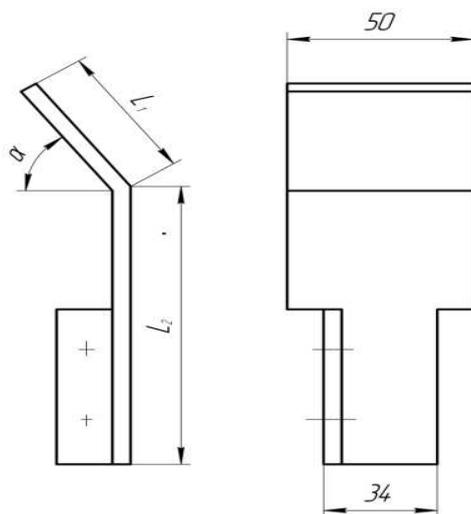


Рисунок 2 – Загнутая Т-образная лопатка шириной 50 мм  
( $L = L_1 + L_2$ )

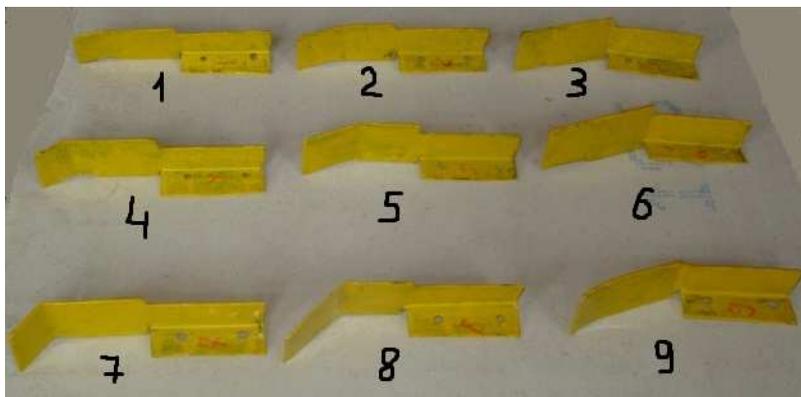


Рисунок 3 – Общий вид лопаток: 1 –  $L_1/L = 1/8$ ,  $\alpha = 15^\circ$ ;  
 2 –  $L_1/L = 1/4$ ,  $\alpha = 15^\circ$ ; 3 –  $L_1/L = 1/2$ ,  $\alpha = 15^\circ$ ;  
 4 –  $L_1/L = 1/8$ ,  $\alpha = 30^\circ$ ; 5 –  $L_1/L = 1/4$ ,  $\alpha = 30^\circ$ ;  
 6 –  $L_1/L = 1/2$ ,  $\alpha = 30^\circ$ ; 7 –  $L_1/L = 1/8$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ;  
 8 –  $L_1/L = 1/4$ ,  $\alpha = 45^\circ$ ; 9 –  $L_1/L = 1/2$ ,  $\alpha = 45^\circ$

Таблица 1 – Матрица плана  $2^3$ , интервалы и уровни варьирования факторов

№ опыта	Значения факторов						Критерии оптимизации	
	Нормир.	Ненормир.	Нормир.	Ненормир.	Нормир.	Ненормир.	$\eta$ , %	$W/Q$ , Вт·с/м
	$x_1$	n, мин	$x_2$	$L_1/L$	$x_3$	$\alpha$ , град	$\bar{y}_1$	$\bar{y}_2$
1	- 1	1850	- 1	1/8	- 1	15	34,5	2,84
2	+ 1	3000	- 1	1/8	- 1	15	34,7	4,69
3	- 1	1850	+ 1	1/2	- 1	15	31,1	2,61

4	+ 1	3000	+ 1	1/2	- 1	15	32,4	5,08
5	- 1	1850	- 1	1/8	+ 1	45	38,9	2,22
6	+ 1	3000	- 1	1/8	+ 1	45	51,2	3,22
7	- 1	1850	+ 1	1/2	+ 1	45	28,3	3,07
8	+ 1	3000	+ 1	1/2	+ 1	45	40,5	4,22

По результатам исследований получены модели регрессии рабочего процесса:

$$\bar{y}_1 = 36,5 + 3,24x_1 - 3,4x_2 + 3,28x_3 + 0,11x_1x_2 + 2,88x_1x_3 - 1,95x_2x_3. (1)$$

$$\bar{y}_2 = 3,49 + 0,81x_1 + 0,25x_2 - 0,31x_3 + 0,1x_1x_2 - 0,27x_1x_3 + 0,21x_2x_3. (2)$$

Анализируя математическую модель (1), можно отметить, что существенное влияние на КПД оказывает фактор  $x_2$ . Менее значимыми являются факторы  $x_3$  и  $x_1$ . Незначимым в данном опыте оказалось сочетание факторов  $x_1x_2$ . Степень достоверности аппроксимации полученной модели регрессии  $R^2$  составила 99,7 %. Анализ модели регрессии (2) позволяет сделать вывод, что наибольшее влияние на удельные энергозатраты оказывает фактор  $x_1$  – частота вращения. Менее значимо влияние факторов  $x_3$ ,  $x_2$ , а также сочетание эффектов  $x_1x_3$  и  $x_2x_3$ . Степень достоверности аппроксимации модели регрессии (2)  $R^2$  составила 99,4 %.

Для наглядного представления влияния изучаемых факторов на критерии оптимизации были построены двумерные сечения поверхности отклика, представленные на рисунке 4.

Анализ двумерных сечений (рис. 4, а) показывает, что при необходимой частоте вращения (3000 мин<sup>-1</sup>) увеличение фактор  $x_2$  (соотношение длины загнутой части  $L_1$  к общей длине  $L$  лопатки) с 1/8 до 1/2 приводит к возрастанию КПД с 30,5 % до 36,5 % и снижению энергозатрат с

4,18 кВт·с/м<sup>3</sup> до 2,74 кВт·с/м<sup>3</sup>. Увеличение угла наклона загнутой части лопатки с 15 ° до 45 ° приводит к возрастанию КПД с 34 % до 44 %, удельные энергозатраты при этом возрастают с 2,74 кВт·с/м<sup>3</sup> до 3,7 кВт·с/м<sup>3</sup>.

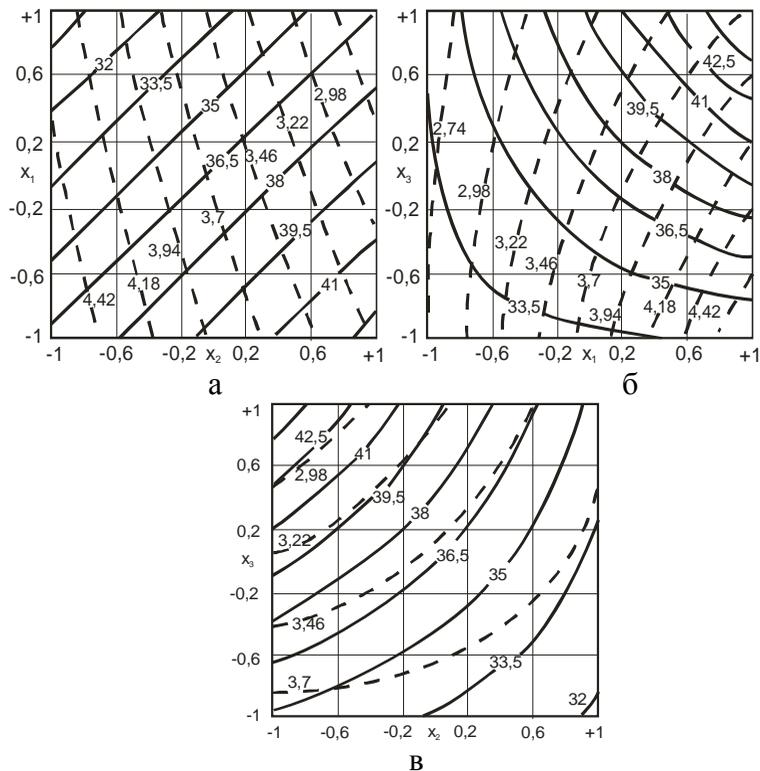
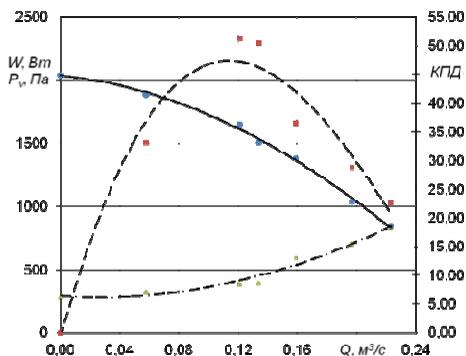


Рисунок 4 – Влияние на КПД и удельную мощность:  
 а – частоты вращения и отношения длины загнутой части к общей длине лопатки; б – частоты вращения и угла наклона загнутой части лопаток; в – отношения длины загнутой части к общей длине лопатки и угла наклона загнутой части лопаток

Таким образом, можно рекомендовать следующие значения исследуемых факторов: угол наклона загнутой части лопатки –  $45^\circ$ , соотношение длины загнутой части  $L_1$  к общей длине  $L$  лопатки –  $3/10$ . При этом КПД составляет  $42,5\%$ , удельные энергозатраты –  $3,74 \text{ кВт}\cdot\text{с}/\text{м}^3$ .

На рис. 5 представлены аэродинамические характеристики ротора-вентилятора с параметрами, близкими к полученным.

Результаты исследований (рис. 5) показали, что максимальный КПД характерен для лопаток, загнутых под углом  $45^\circ$  и соотношении длин  $L_1/L = 1/8$ . При этом номинальное давление составляет  $1653 \text{ Па}$ , удельные энергозатраты, необходимые на перемещение воздушного потока –  $3,22 \text{ кВт}\cdot\text{с}/\text{м}^3$ .



—————  $P_v$ ; - - - - -  $W$ ; - . - . -  $\eta \times 100, \%$

Рисунок 5 – Аэродинамические характеристики ротора-вентилятора с лопатками, загнутыми назад под углом  $45^\circ$ ,  $b = 50 \text{ мм}$ ,  $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ ,  $L_1/L = 1/8$  (всасывание)

В результате проведенных исследований были определены пути оптимизации исследуемых факторов. Для увеличения КПД ротора-вентилятора и снижения удельных энергозатрат, необходимых на перемещение воздушного

ного потока, форма лопаток должна быть близкой к лопатке со следующими параметрами: угол наклона загнутой части –  $45^\circ$ , соотношение длин  $L_1/L = 3/10$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников С. В. Аэродинамические исследования молотковых кормодробилок // Земледельческая механика: Сб. тр. М.: Машиностроение. 1971. Т. 13. С. 270 - 281.

### **STUDYING OF INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE FACTORS OF SHOVELS OF ROTOR-CONDITIONER TO THE CHARACTERISTICS OF CRUSHING WORING PROCESS**

**Keywords:** *crushing hammer, rotor-conditioner, shovel, aerodynamic characteristics, experiment, factor.*

*The summary. In the article the results of experiments of influence of constructive factors of shovel of rotor-conditioner to the characteristics of crushing.*

---

**НЕЧАЕВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ** – преподаватель кафедры «Механика и сельскохозяйственные машины», Нижегородский государственный инженерно-экономический институт, Россия, Княгинино, ([nechaev-v@list.ru](mailto:nechaev-v@list.ru)).

**NECHAEV VLADIMIR NIKOLAEVICH** – the teacher of the chair of mechanics and agricultural cars, the Nizhniy Novgorod state engineering-economic institute, Russia, Knyaginino, ([nechaev-v@list.ru](mailto:nechaev-v@list.ru)).

---