

## К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВАЛЬЦОВОЙ ПЛЮЩИЛКИ-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА

Е.М. Прищепова,

*доцент каф. электрооборудования сельскохозяйственных предприятий БГАТУ, канд. техн. наук, доцент*

В.С. Грушин,

*магистрант агроэнергетического факультета БГАТУ*

*В статье приведено обоснование минимального диаметра вальцов вальцовой плющилки-измельчителя фуражного зерна, как одного из основных конструктивных параметров, обеспечивающего надежный захват зерна в межвальцовое пространство. При этом диаметр вальцов будет определяться степенью плющения зерна, межвальцовым зазором и характерным размером зерновки злаковых.*

*Ключевые слова: плющилка-измельчитель фуражного зерна, диаметр вальцов, степень плющения, степень измельчения, окружная скорость вальцов, производительность, мощность.*

*The article provides the substantiation of the minimum diameter of the rollers of a feed grain crusher-grinder as one of the main design parameters that ensures reliable capture of grain in the inter-roller space. The diameter of the rollers will be determined by the degree of grain crushing, the inter-roller gap and the typical size of the grain.*

*Key words: feed grain crusher-grinder, roller diameter, degree of flattening, degree of grinding, peripheral speed of the rollers, productivity, power.*

### Введение

В настоящее время в АПК Республики Беларусь все большее внимание уделяется производству комбикормов из сухого измельченного зерна непосредственно на сельскохозяйственных предприятиях, а также технологии консервирования плющеного зерна ранней стадии спелости. Это позволяет снизить себестоимость кормов и животноводческой продукции за счет сокращения затрат на перевозку зерна и комбикорма, повышения питательной ценности кормов, снижения энергозатрат и т.д.

Соответственно, традиционная технология сухого хранения зерна с последующим измельчением требует применения измельчающего оборудования, а технология консервирования плющеного влажного зерна – плющилок. Практический опыт использования плющилок показывает, что в течение года они работают 2-3 недели, т.е. имеют низкую загруженность. Следовательно, для обеспечения высокой загрузки оборудования, используемого как для измельчения сухого, так и для плющения влажного зерна, необходимо разработать универсальную плющилку-измельчитель фуражного зерна. Несмотря на распространенность и простоту устройства, на молотковых дробилках зерна выполнять обе операции измельчения и плющения зерна невозможно, в связи с тем, что в них нельзя осуществить такой способ механического нагружения, как сжатие или плющение. Этот способ нагружения наиболее просто осуществить в вальцовых плющилках. При этом, вращая вальцы навстречу друг другу с одинаковой окружной

скоростью образующих поверхностей вальцов, зерно, находящееся в межвальцовом пространстве, будет плющиться, так как оно испытывает в основном сжатие и незначительное истирание. При вращении вальцов навстречу друг другу с разной окружной скоростью образующих поверхностей вальцов зерно будет измельчаться, так как оно будет испытывать одновременно сжатие, сдвиг, истирание, а при наличии рифлей на вальцах – и резание в соизмеримых соотношениях, что делает процесс наиболее сложным в определении и настройке его технологических параметров, обеспечивающих необходимую степень измельчения зерна и высокие энергетические показатели процесса. Использование вальцовой плющилки-измельчителя зерна обеспечит также более равномерный гранулометрический состав измельченного зерна практически без содержания пылевидной фракции, которая в молотковых дробилках достигает 20..30 %.

Исследованиями процессов плющения и измельчения фуражного зерна занимались многие известные отечественные ученые – Мельников С.В., Кукта Г.М., Завражнов А.И., Сундеев А.А., Сыроватка В.И., Сысуев В.А., Савиных П.А., Передня В.И., Селезнев А.Д., Савиных В.Н., Дешко В.И.

Основными конструктивными параметрами вальцовой плющилки-измельчителя фуражного зерна являются диаметр и длина вальцов, а также межвальцовый зазор. Межвальцовый зазор регулируется в процессе плющения и измельчения зерна в зависимости от технологических требований к процессам,

длина валцов определяется производительностью плющилки-измельчителя, а диаметр валцов будет влиять на энергозатраты процесса [1-11].

Цель работы – теоретически обосновать величину минимального диаметра валцов валцовых плющилок-измельчителей фуражного зерна.

### Основная часть

Величина диаметра валцов зависит от размера измельчаемого зерна, окружной скорости валцов, производительности и мощности плющилки-измельчителя, а также определяется конструктивными решениями ее компоновки. Минимальный диаметр валцов  $D$  определяется из условий захвата зерновки, имеющей среднюю толщину (диаметр)  $d_n$ . Для обеспечения захвата зерновки валцами (рис. 1) необходимо, чтобы проекция на вертикальную ось втягивающей составляющей силы трения  $2Nf \cos \alpha_1$  была больше выталкивающей составляющей силы нормального давления  $N$ , испытываемой зерновкой  $2N \sin \alpha_1$ . Тогда с учетом выражения силы нормального давления

$N = \left(\frac{mg}{2} + \frac{F}{2}\right) \sin \alpha_1$  можно записать неравенство

$$2\left(\frac{mg}{2} + \frac{F}{2}\right) \sin \alpha_1 f \cos \alpha_1 > 2\left(\frac{mg}{2} + \frac{F}{2}\right) \sin \alpha_1 \sin \alpha_1, \quad (1)$$

где  $m$  – масса зерновки, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$F$  – сила давления на зерновку, Н;

$f$  – коэффициент трения;

$\alpha_1$  – угол, образованный лучом, проходящим от центра валца через точку контакта зерновки с поверхностью валца, рад.

После сокращений и преобразований неравенства (1) получим:

$$f > \operatorname{tg} \alpha_1. \quad (2)$$

По аналогии с [7] приравняем коэффициент трения  $f$  с тангенсом угла трения  $\alpha_T$ , т.е.  $f = \operatorname{tg} \alpha_T$ , так как  $\alpha_T > \alpha_1$  (рис. 1), то угол захвата

$$\beta < 2\alpha_T. \quad (3)$$

Следовательно, для нормальной работы валцов, т.е. обеспечения захвата зерновки необходимо, чтобы угол трения  $\alpha_T$  был больше половины угла захвата  $\beta$  или результирующая сила  $N_T$  силы нормального давления  $N$  и силы трения  $F_{\text{тр}}$  была отклонена вниз от горизонтали (рис. 1).

Из рисунка 1 можно также записать соотношение:

$$\frac{D}{2}(1 - \cos \alpha_1) + \frac{b_3}{2} = \frac{d_n}{2} \cos \alpha_1 \quad (4)$$

Задаваясь степенью плющения и измельчения зерна  $\lambda = d_n/b_3$  и подставив вместо угла деформации  $\alpha_1$  угол трения  $\alpha_T$ , получим допустимый размер зерновки  $d_n$  исходя из условия захвата или соотношения между  $d_n$  и диаметром валцов  $D$ :

$$d_n = \frac{D(1 - \cos \alpha_T)}{\cos \alpha_T - 1/\lambda} \quad (5)$$

или

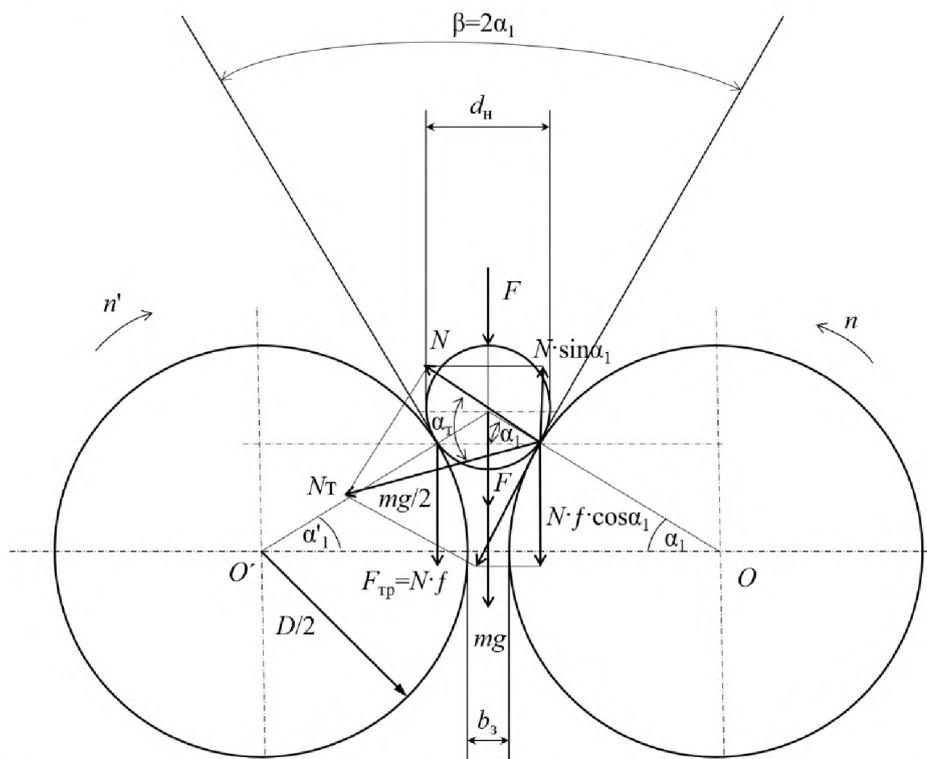


Рисунок 1. Расчетная схема для определения угла трения и угла захвата плющилки-измельчителя с одинаковым диаметром валцов

$$\frac{D}{d_n} = \frac{\cos \alpha_T - 1/\lambda}{1 - \cos \alpha_T} \quad (6)$$

Задавая степень плющения зерна  $\lambda=5/0,6 \approx 8,3$ , где  $b_3=0,6$  мм – зазор между вальцами;  $d_n = 5$  мм – характерный размер зерновки злаковых (пшеница – 1,6-3,8 мм; рожь – 1,8-3,5 мм; ячмень – 1,4-4,5 мм; овес – 1,2-3,5 мм) и углом трения  $\alpha_T = 12^\circ > \alpha_1 = 10^\circ$ , получим соотношение:

$$\frac{D}{d_n} = \frac{0,985 - 1/8,3}{1 - 0,985} = \frac{0,865}{0,015} = 58,$$

т.е. диаметр вальцов должен быть в 58 раз больше характерного размера зерновки, т.е.  $D = 5 \cdot 58 = 290$  мм, что подтверждается и результатами исследований других авторов [12], согласно которым в современных плющилках используются вальцы диаметром 200-450 мм, а наиболее распространены вальцовые плющилки-измельчители с диаметром вальцов 270-310 мм. Данные теоретические выводы косвенно подтверждаются и техническими характеристиками современных плющилок-измельчителей фуражного зерна (табл. 1).

**Таблица 1. Технические характеристики современных вальцовых плющилок-измельчителей фуражного зерна**

Модель	Производительность, т/ч	Мощность привода, кВт	Вальцы			Частота вращения вальцов, мин <sup>-1</sup>	Привод ВОМ* (+) ЭП** (-)
			Количество, шт	Диаметр, мм	Ширина, мм		
<i>Murska</i>							
220 S	1	4	2	200	220	540	-
350 S2	5	15	2	300	350	540	+
700 S2	10	30	2	300	700	540	+
1000 S2	20	50	2	300	1000	540	+
1000 hd	20	65	2	300	1000	540	+
1400 S2x2	25	75	4	300	700	540	+
2000 S2x2	40	95	4	300	1000	540	+
350 S	3-5	15	2	300	350	540	-
700 S	8-10	30	2	300	700	540	-
<i>Romill</i>							
M100	0,7	2,2	2	300	100	500	-
M300	1,2-1,8	5,5	2	300	300	500	-
M600	3,4	11	2	220	600	1000	-
M900	6	18,5	2	220	900	1000	-
M1	15-20	44	2	220	900	1000	+
M2	30-40	88	4	220	900	1000	+
<i>Renn roller mill</i>							
RMC 10	2,2	5	2	216	254	540	-
RMC 12	6,5	10	2	406	305	540	+
RMC 18	9,8	15	2	406	457	540	+
RMC 24	13	20	2	406	610	540	+
RMC 30	17,4	30	2	406	762	540	+
RMC 36	19,5	40	2	406	914	540	+
RMC 48	26	50	2	406	1219	540	+
<i>Grinder Bagger</i>							
GB6-15 S	15	65	2	400	600	540	+
GB6-25 S	25	90	2	400	900	540	+
GB6-35 S	35	110	2	400	1200	540	+
<i>Superior</i>							
SM 3000	20	75	2	300	1220	540	+
SH 10000	4	25	2	267	457	540	+
<i>New Concept</i>							
NC 1210	10	30	2	273	305	540	+
NC 1610	15	40	2	273	406	540	+
NC 2210	20	50	2	273	559	540	+
NC 3010	25	65	2	273	762	540	+
ООО «Промтех» (Россия)							
Волга-700	5-10	45	2	300	700	540	-
ООО «БиоМикс» (Россия)							
H-730	0,8	4	2	240	150	500	-
H-733	2	7,5	2	240	300	500	-
H-789	3	7,5	3	290	300	500	-

Продолжение таблицы 1

Модель	Производительность, т/ч	Мощность привода, кВт	Вальцы			Частота вращения вальцов, мин <sup>-1</sup>	Привод ВОМ* (+) ЭП** (-)
			Количество, шт	Диаметр, мм	Ширина, мм		
ООО «Агро-Техсервис» (Россия)							
ПЗ-1	1,5	4	2	270	150	275	-
ГК «СпецКомМаш» (Россия)							
ПЗ-30	15-30	60-70	4	292	700	540	+
ФГБНУ «ЗНИИСХ Северо-Востока им. Н.В. Рудницкого» (Россия)							
ПЗД-3.1	3	17,6	3	275	400	552	-
ПЗД-6	6	30	3	275	600	552	-
ДП «Щучинский РЗ» Гродненского УП «Облсельхозтехника» (Беларусь)							
ПВЗ-30	30	70	4	292	700	540	+
ПВЗ-10П	10	30	2	292	700	540	+
ОАО «Витебский моторремонтный завод» (Беларусь)							
ПВЗ-10	10	30	2	292	700	540	-
ОАО «Минский райагросервис» (Беларусь)							
КОРМ-10	10	39,2	2	300	420	1480	-
КОРМ-20	20	47,2	2	300	560	1480	-

\*ВОМ – вал отбора мощности;

\*\*ЭП – электропривод.

### Заключение

В настоящее время в выпускаемых отечественной и зарубежной промышленностью вальцовых плющилках-измельчителях используются вальцы с диаметром 200-406 мм, что свидетельствует об отсутствии общепринятого теоретического и экспериментального обоснования этого конструктивного параметра.

Увеличение диаметра вальцов плющилок-измельчителей обеспечивает лучший захват зерновки в межвальцовое пространство при плющении зерна, что уменьшает потери мощности на трение зерновки о рабочую поверхность вальцов, однако увеличение диаметра вальцов вызывает рост распорного усилия вальцов, увеличение окружной скорости вальцов, производительности и мощности, что значительно усложняет определение оптимального диаметра вальцов, т.е. делает задачу оптимизационной.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шило, И.Н. К обоснованию мощности привода вальцов плющилки / И.Н. Шило, Н.А. Воробьев, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2008. – № 3. – С. 25-28.
2. Дайнеко, В.А. Теоретическое обоснование мощности электропривода вальцовой плющилки / В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова, Н.А. Воробьев // Агропанорама. – 2012. – № 4. – С. 18-29.
3. Дайнеко, В.А. Математическое моделирование мощности вальцовой плющилки зерна / В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова // Ukrainian Food Journal. – 2012. – № 3. – С. 40-49.
4. Dayneko, V. Mathematical modeling of the capacity of roller grain crusher / V. Dayneko, E. Prischepo-

va // Journal of Food and Packing Science, Technique and Technologies. – 2012. – № 1. – Sh. 19-22.

5. Дайнеко, В.А. Теоретическое обоснование мощности электропривода вальцовой плющилки-измельчителя / В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова, Н.А. Воробьев // Агропанорама. – 2013. – № 1. – С. 16-26.

6. Дайнеко, В.А. К вопросу повышения производительности и снижения удельных энергозатрат вальцовой плющилки зерна / В.А. Дайнеко, Е.М. Прищепова // Агропанорама. – 2013. – № 2. – С. 24-27.

7. Машины и агрегаты металлургических заводов: учебник для вузов: в 3 т. / А.И. Целиков [и др.]. – М.: Металлургия, 1987. – Т. 1: Машины и агрегаты доменных цехов: 2-е изд., перераб. и доп. – 440 с.

8. Кукта, Г.М. Технология переработки и приготовления кормов / Г.М. Кукта. – М.: Колос, 1978. – 240 с., ил.

9. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С.В. Мельников. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ие, 1978. – 560 с., ил.

10. Дешко, В.И. Исследование и обоснование режимов плющения зерна после влаготепловой обработки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.И. Дешко; Укр. Науч.-исслед. институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – Ленинград-Пушкин, 1978. – 19 с.

11. Завражнов, А.И. Механизация приготовления и хранения кормов / А.И. Завражнов, Д.И. Николаев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 336 с., ил.

12. Воробьев, Н.А. Плющение фуражного зерна вальцами с рифлено-ступенчатой рабочей поверхностью: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.А. Воробьев. – Минск: БГАТУ, 2009. – 154 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 04.07.2024