

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДРОБИЛКИ С РИФЛЕННОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ВАЛЬЦОВ

И.Н. Шило, докт. техн. наук, профессор, В.Н. Савиных, канд. техн. наук, Н.А. Воробьёв, канд. техн. наук, доцент, А.В. Гуд, аспирант (БГАТУ)

Аннотация

В статье приведены результаты аналитических исследований по определению пропускной способности вальцовой дробилки с рифлеными рабочими органами.

The results of analytic research on defining the capacity of a roll crusher with crimpers are given in the article.

Введение

Дробление зерна вальцовыми дробилками является весьма сложным механическим процессом, и его описание на основании теоретических предпосылок, даже с некоторыми допущениями, имеет важное прикладное значение, позволяющее проследить общие закономерности дробления зерна вальцовыми машинами.

Основная часть

В настоящем исследовании поставлена задача, определить влияние основных конструктивных и технологических факторов на пропускную способность вальцовых измельчителей с рифлёной поверхностью рабочих органов. Основным принципом дробления вальцовыми рабочими органами является скалывание, что требует придания вальцам различных окружных скоростей [1, 2, 3]. Отсюда количественная и качественная эффективность работы определяется как абсолютными, так и относительными окружными скоростями вальцов. Разность окружных скоростей вальцов определяет число воздействий рифлей на зерновку, проходящую через рабочую зону вальцов.

Рабочая зона, согласно рис. 1, определяется размером зерновки и диаметром вальцов. Зона воздействия рифлей на зерновку задается дугой L_{AB_1} , которая определяется зависимостью

$$L_{AB_1} = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi}{360},$$

где D – диаметр вальца, м;
 φ – угол захвата зерна, град.

Исходя из предположения, что частицы зерна, скалываемые рифлями быстро вращающегося вальца, выбрасываются со скоростью V_0 , а подача зерна производится со скоростью медленно вращающегося

вальца V_m , то время нахождения зерновки t в зоне L_{AB_1} определяется выражением

$$t = \frac{L_{AB_1}}{V_m} = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi}{360 V_m}.$$

За это время в зоне L_{AB_1} произойдет N число воздействий рифлей быстро вращающегося вальца на зерновку

$$N = \frac{V_0 \cdot t}{c} = \frac{(V_0 - V_m) \cdot t}{c},$$

где N – число воздействий рифлей на зерновку;
 V_0 – разность скоростей, м/с;
 c – шаг рифлей, м,
или

$$N = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi}{360} \cdot \frac{(V_0 - V_m)}{V_m} \cdot \frac{1}{c}.$$

Обозначив отношение V_0 к V_m через i , получим

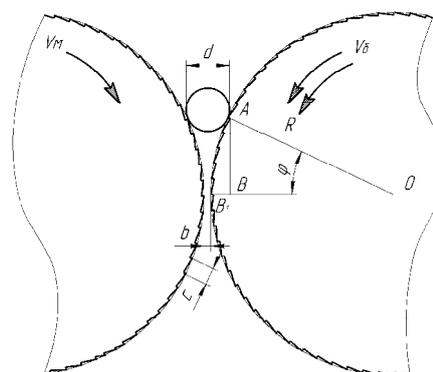


Рисунок 1. Исходные условия для определения времени прохождения зерновки через рабочую зону

$$N = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi \cdot (i-1)}{360 \cdot c}$$

Угол захвата φ , согласно рис. 1, зависит от размера зерновки, зазора между вальцами, их диаметра и определяется следующим выражением:

$$\varphi = \arccos\left(1 - \frac{d-b}{D}\right), \quad (1)$$

где d – средний диаметр зерновки, м;

b – зазор между вальцами, м.

С учетом зависимости (1), общее число воздействий рифлей на зерновку определяется выражением:

$$N = \frac{\pi \cdot D \cdot \arccos\left(1 - \frac{d-b}{D}\right) \cdot (i-1)}{360 \cdot c}$$

Таким образом, число воздействий рифлей на зерновку увеличивается с увеличением диаметра вальцов, отношения скоростей, размеров зерновки, уменьшением шага рифлей, и также увеличивается с уменьшением зазора между вальцами. На рис. 2 представлена зависимость изменения числа воздействий

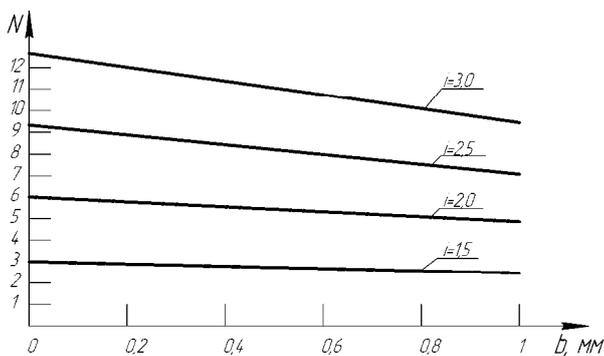


Рисунок 2. Зависимость числа воздействий рифлей на зерновку от зазора между вальцами при различных значениях отношения скоростей.

рифлей на зерновку ячменя при среднем диаметре зерновки $d=2,4$ мм, диаметре вальцов $D=200$ мм и шаге рифлей $c=2,5$ мм от зазора между вальцами при разных значениях отношения скоростей. Зависимость показывает, что численное значение отношения скоростей оказывает значительное влияние на число воздействий рифлей на зерновку. Увеличение зазора при $i < 2$ не оказывает большого влияния на число воздействий рифлей на зерновку.

Технологический эффект измельчения зерна вальцами зависит не только от числа воздействий рифлей быстро вращающегося вальца, но и характера воздействия, чем выше скорость внедрения рифли в зерно, тем выше эффективность воздействия, которую можно охарактеризовать величиной приращения кинетической энергии: $m \cdot V_0^2 / 2$.

В табл. 1 приведены общие данные, отражающие работу вальцов с изменением основных параметров.

Как видно из табл.1, увеличение скорости повышает уровень кинетической энергии ($m \cdot V_0^2 / 2$) при одном и том же отношении скоростей и числе воздействий рифлей, при этом должен повышаться технологический эффект увеличения производительности. Аналогичным образом должно сказаться увеличение шага рифлей.

Увеличение отношения скоростей при постоянной скорости медленно вращающегося вальца дает увеличение числа воздействий рифлей, и технологический эффект должен выразиться в улучшении качества измельчения. Пропускная способность машины может снизиться из-за снижения окружной скорости медленно вращающегося вальца.

Проведем расчет пропускной способности рабочих органов вальцовых измельчителей с допущением, что площадь впадин межрифленного пространства заполнена полностью. Общая пропускная способность состоит из пропускной способности межрифле-

Таблица 1. Численные значения параметров

Параметр	Численное значение								
	Отношение скоростей $i=1:1,5$								
V_6 , м/с	8			12			16		
V_m , м/с	5,33			8			10,66		
V_0 , м/с	2,67			4			5,34		
t , с	0,0029			0,0019			0,0014		
$(mV^2)/2$	7,1м/2			16м/2			28,5м/2		
c , мм	1,25	1,66	2,5	1,25	1,66	2,5	1,25	1,66	2,5
N	6,2	4,65	3,1	6,2	4,65	3,1	6,2	4,65	3,1
	Отношение скоростей $i=1:2$								
V_6 , м/с	8			12			16		
V_m , м/с	4			6			8		
V_0 , м/с	4			6			8		
t , с	0,0038			0,0025			0,0019		
$(mV^2)/2$	16м/2			36м/2			64м/2		
c , мм	1,25	1,66	2,5	1,25	1,66	2,5	1,25	1,66	2,5
N	12,4	9,3	6,2	12,4	9,3	6,2	12,4	9,3	6,2

Продолжение таблицы 1.

Параметр	Численное значение								
	Отношение скоростей $i=1:2,5$								
$V_6, \text{ м/с}$	8			12			16		
$V_m, \text{ м/с}$	3,2			4,8			6,4		
$V_0, \text{ м/с}$	4,8			7,2			9,6		
$t, \text{ с}$	0,0048			0,0032			0,0024		
$(mV^2)/2$	23м/2			51,8м/2			92,1м/2		
$c, \text{ мм}$	1,25	1,66	2,5	1,25	1,66	2,5	1,25	1,66	2,5
N	18,6	13,9	9,3	18,6	13,9	9,3	18,6	13,9	9,3
Параметр	Отношение скоростей $i=1:3,0$								
	Отношение скоростей $i=1:3,0$								
$V_6, \text{ м/с}$	8			12			12		
$V_m, \text{ м/с}$	2,66			4			5,33		
$V_0, \text{ м/с}$	5,34			8			10,67		
$t, \text{ с}$	0,0058			0,0038			0,0029		
$(mV^2)/2$	28,5м/2			64м/2			113,8м/2		
$c, \text{ мм}$	1,25	1,66	2,5	1,25	1,66	2,5	1,25	1,66	2,5
N	24,8	18,6	12,4	24,8	18,6	12,4	24,8	18,6	12,4

ного пространства медленно вращающегося Q_m и быстро вращающегося Q_6 вальца, пропускной способности межвальцового зазора Q_{cp} :

$$Q = Q_m + Q_6 + Q_{cp} \quad (2)$$

Пропускная способность медленно вращающегося вальца может быть представлена выражением

$$Q_m = \frac{S_{en} \cdot L}{c} \cdot V_m \quad (3)$$

аналогично, для быстро вращающегося вальца

$$Q_6 = \frac{S_{en} \cdot L}{c} \cdot V_6 \quad (4)$$

где S_{en} – площадь впадин межрифленого пространства, м^2 ,

L – длина вальца, м ,

c – шаг рифлей, м .

Пропускная способность межвальцового зазора равна

$$Q_c = \frac{L \cdot b \cdot (V_m + V_6)}{2} \quad (5)$$

Подставив выражения (3), (4) и (5) в выражение (2) и проведя преобразования, получим

$$Q = 0,5 \cdot V_6 \cdot L \cdot \left(1 + \frac{1}{i}\right) \cdot \left(\frac{2 \cdot S_{en}}{c} + b\right) \quad (6)$$

Выразим площадь впадин, согласно рис. 3, через геометрические параметры рифлей, сделав допущение, что угол $\angle ABE = \alpha$, угол $\angle AEB = 90^\circ$, $FE=h$ и $AB=C$.

Тогда площадь впадины между рифлями, в первом приближении, можно выразить зависимостью

$$S_{en} = \frac{1}{2} \cdot c \cdot h,$$

из прямоугольного треугольника ABE найдём, что

$$h = c \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha,$$

тогда

$$S_{en} = \frac{c^2}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \quad (7)$$

Подставив выражение (7) в выражение (6), получим

$$Q = 0,5 \cdot L \cdot V_6 \cdot \left(1 + \frac{1}{i}\right) \cdot (c \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + b), \text{ м}^3/\text{с}$$

или

$$Q = 1800 \cdot L \cdot V_6 \cdot \left(1 + \frac{1}{i}\right) \cdot (c \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + b), \text{ м}^3/\text{ч} \quad (8)$$

Выражение (8) позволяет провести анализ влияния основных конструктивных и технологических факторов на пропускную способность вальцовых измельчителей с принятыми режимными параметрами и геометрическими параметрами рифлей.

На рис. 4 представлены графики зависимости пропускной способности вальцового измельчителя при диаметре вальцов 200 мм и среднем размере зерновки $d=2,4$ мм от окружной скорости быстро вращающегося вальца, отношения скоростей, угла α и межвальцового зазора.

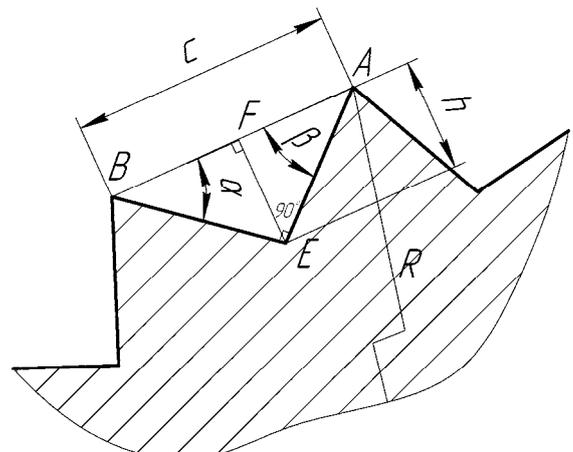


Рисунок 3. Расчетная схема для определения площади впадин между рифлями

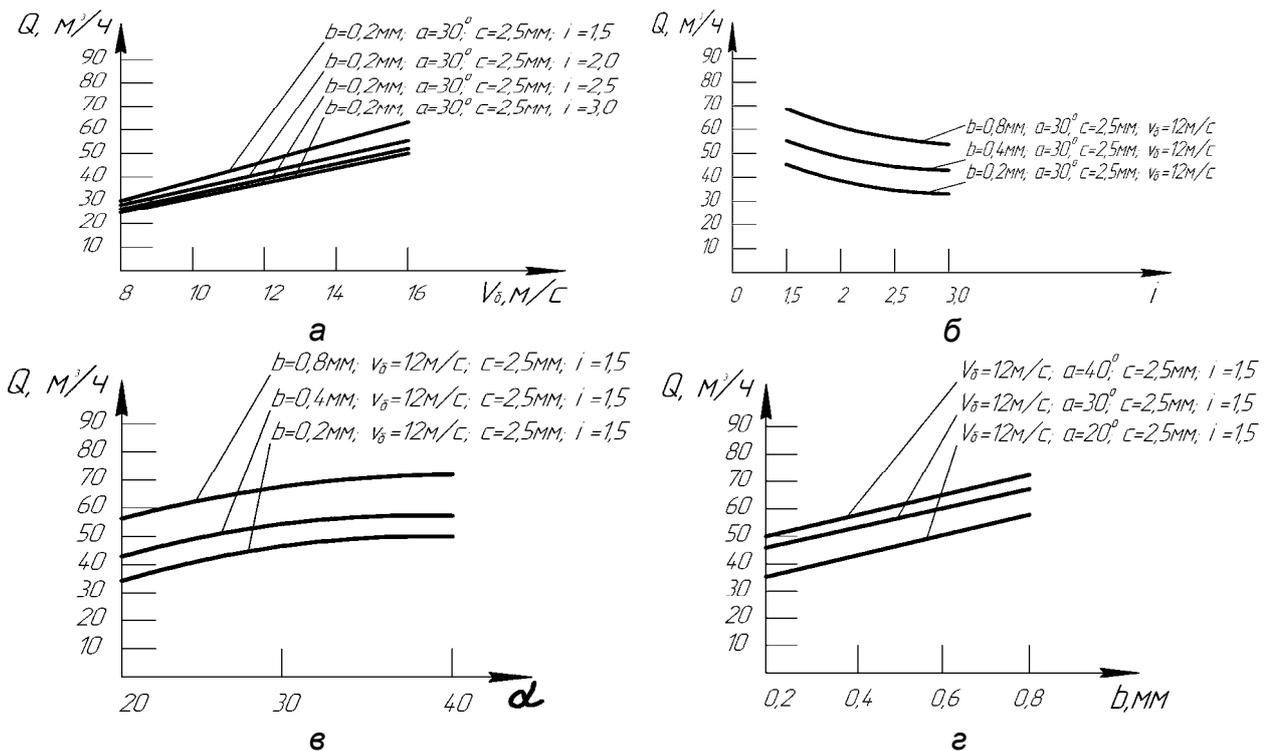


Рисунок 4. Зависимость пропускной способности вальцового измельчителя: а – от окружной скорости быстро вращающегося вальца; б – отношения скоростей; в – угла α рифли; з – межвальцового зазора

Как видно из рис. 4, пропускная способность линейно растёт с увеличением окружной скорости быстро вращающегося вальца, с увеличением отношения скоростей она снижается, причем наиболее интенсивно от $i=1,5$ до $i=2,0$. В интервале при $i=2,5$ до $i=3,0$ изменения пропускной способности незначительны, пропускная способность линейно возрастает с увеличением межвальцового зазора.

Увеличение угла α рифлей с 20° до 30° существенно влияет на пропускную способность и обеспечивает ее прирост на 25-30%, с увеличением угла α с 30° до 40° прирост пропускной способности составляет менее 10 %.

Объяснение явлений, связанных с измельчением зерна вальцами с рифленой рабочей поверхностью, представляет значительную сложность в связи с отсутствием достаточной исследованности их физико-механических свойств. Вместе с тем, полученные зависимости позволяют выявить ряд явлений, происходящих в рабочей зоне вальцового измельчителя, а также провести выбор основных технологических и конструктивных параметров рабочих органов.

Заключение

Отношение окружных скоростей является важнейшим параметром, определяющим технологическую эффективность вальцового измельчителя. Как видно из проведенных исследований, для измельчающих систем целесообразно применять отношение окружных скоростей, равное 2,0.

Повышение окружной скорости быстро вращающегося вальца приводит к увеличению пропускной способности вальцового измельчителя.

Увеличение угла α с 20° до 30° приводит к росту пропускной способности на 25÷30%, при дальнейшем увеличении угла α до 40° - прирост составляет менее 10%.

Установленные закономерности показывают влияние основных параметров и режимов работы рабочих органов на производительность измельчителя. Полученные зависимости позволяют рассчитывать пропускную способность вальцового измельчителя для различных параметров и режимов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов, А.Я. Технологическое оборудование элеваторов, мельниц, крупяных и комбикормовых заводов / А.Я. Соколов. – Москва: Загедиздат, 1984. – 384 с.
2. Иванов, А.В. Межвальцовый зазор – основной параметр процесса измельчения / А.В. Иванов, Н.В. Иванова, Ж.В. Кошак // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия: научно-метод. журнал. – 2008. – № 1. – С. 82-86.
3. Воробьев, Н. А. Вальцовые рабочие органы машин для переработки зерна/Н.А. Воробьев// Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. научно-практич. конф., 17-19 октября 2007 г. – Минск, 2007. – Т. 2. – С. 71-75.