

Гладушняк А. К.

Федоренко И. В.

Одесская  
национальная  
академия  
пищевых  
технологий

УДК 664.8-035.2:658.26-027.33

## ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДРОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ТОНКОГО СЕЛЕКТИВНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

*В данной статье изложены результаты исследований рабочих параметров селективной дробилки для тонкого измельчения растительного сырья при первичной его переработке холодным способом с одновременным процессом финиширования. Полученные параметры необходимы для проектирования, разработки и создания дробильно-финишерных установок различной производительности, пригодных для производства растительных полуфабрикатов холодным способом с сохранностью биологически активных веществ, которые могут быть использованы для приготовления продуктов детского и диетического питания, мороженого, йогуртов, пюреобразных джемов. Приведена математическая модель процесса тонкого измельчения растительного сырья холодным способом.*

*Ключевые слова: первичная переработка, холодный способ, дробление, финиширование.*

*The results of research to determine the operating parameters of crushing - finish machines for thin selective shredding plant material, cold method, in the food industry processing of puree-like food finished products, products of children's nutrition and semi-finished products, have been given in the article.*

**Keywords:** primary processing, cold method, crumbling up, finish.

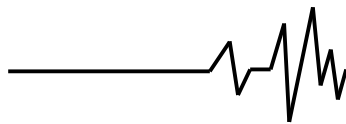
При холодном способе первичной переработке сырья, последнее после мойки и инспекции тонко селективно измельчается и одновременно финишируется. Полученный таким способом полуфабрикат не подвергается процессу разваривания, как при традиционном способе переработки, и используется для изготовления различных консервированных пищевых продуктов. В полуфабрикаты, изготовленные холодным способом из сырья, сохраняются биологически активные вещества. Кроме этого экономятся энергоресурсы, которые при традиционном способе изготовления полуфабриката расходуются на разваривание с целью снижения прочности запасующих тканей (мякоти) сырья.

При процессе измельчения растительного сырья при помощи дисковой дробилки действует две силы:

- сила разрушения,
- центробежная сила.

Селективность при процессе измельчения растительного сырья при помощи дисковой дробилки заключается в том, что при процессе измельчения растительного сырья более прочные ткани (балластные ткани) измельчаются более грубо, чем более мягкие ткани (запасующие ткани), которые измельчаются более мелко. И в дальнейшем производится разделение крупных и мелких частиц на ситах финишера, что в свою очередь позволяет увеличить качество продукта и уменьшить энергозатраты.

Для определения оптимальных параметров дробильной установки необходимо определить критерий оптимальности процесса, который находим из соотношения



$$\Pi = \frac{W}{G} \quad (1)$$

где  $W$  – мощность дробильной установки,  
 $G$  – производительность дробильной установки,  
 $\Pi$  – критерий оптимальности.

Таким образом, алгоритм оптимизации процесса содержит следующие этапы:

1. Область допустимых значений

$$\begin{aligned} W &< W_{\text{д}} \\ G &> G_{\text{д}} \end{aligned}$$

где  $W_{\text{д}}$  –максимально допустимая мощность установки,

$G_{\text{д}}$  – минимально допустимая производительность.

2. Область эффективности, которая определяется соотношением

$$\begin{aligned} W &< W_{\text{э}} \\ G &< G_{\text{э}} \end{aligned}$$

3. Определение оптимальных значений

$$\frac{W_0}{G_0} = \min \Pi$$

где  $W_0$  – значение  $W$  при  $\min \Pi$  в таблице №1.

4. Определение оптимальной скорости

$$W_0 = M\omega_0$$

Откуда

$$\omega_0 = \frac{W_0}{M}$$

Оптимальную скорость определим из оптимальной мощности, которая определяется из элементарной силы действующей на площадку ножа. (Рис.1)

$$d\bar{F} = \frac{\rho v_r^2}{2} h |\Delta\bar{r}| \sin\alpha, \quad (2)$$

где  $\rho$  - плотность продукта измельчения,

$h$  – ширина ножа,

$$|\Delta\bar{r}| = |d\mathbf{r}(\varphi)|,$$

$v_r$ - скорость набегающего потока, равная окружной скорости точки с координатой  $r$ . (Рис.1)

Преобразуем (2)

Имеем:

$$\begin{aligned} d\mathbf{r}(\varphi) &= -\frac{r_0}{\cos^2(\varphi_0 - \varphi)} \cdot [-\sin(\varphi_0 - \varphi)](-1) = -\frac{r_0 \sin(\varphi_0 - \varphi)}{\cos^2(\varphi_0 - \varphi)}; \\ v_r^2 &= r^2 \omega^2; \end{aligned}$$

$$dF = \frac{\rho \omega^2 r^2 r_0 h}{2 \cos^2(\varphi_0 - \varphi)} \sin(\varphi_0 - \varphi) \sin\alpha d\varphi = \frac{\rho \omega^2 r_0^3 h \sin(\varphi_0 - \varphi) \sin\alpha}{2 \cos^4(\varphi_0 - \varphi)} d\varphi.$$

Динамический момент сопротивления продукту вращению ножа равен

$$M = \int_0^{\varphi_0} r dF;$$

$$M = \frac{\rho_0 h r_0^4 \omega^2}{2} \int_0^{\varphi_0} \frac{\sin(\varphi_0 - \varphi)}{\cos^5(\varphi_0 - \varphi)} d\varphi \quad (3)$$

Чтобы вычислить (3), сделаем замену переменной

$$z = \cos(\varphi_0 - \varphi);$$

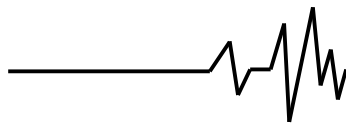
$$dz = -\sin(\varphi_0 - \varphi) \cdot (-1) d\varphi = \sin(\varphi_0 - \varphi) d\varphi.$$

При  $\varphi = 0$   $z = \cos\varphi_0$ , при  $\varphi = \varphi_0$   $z = 1$ .

Тогда

$$\int_0^{\varphi_0} \frac{\sin(\varphi_0 - \varphi)}{\cos^5(\varphi_0 - \varphi)} d\varphi = \int_{\cos\varphi_0}^1 \frac{dz}{z^5} = -5 \left( 1 - \frac{1}{\cos^6 \varphi_0} \right) = \frac{5(1 - \cos^6 \varphi_0)}{\cos^6 \varphi_0}$$

$$M = \frac{5\rho h r_0^4 \sin\alpha (1 - \cos^6 \varphi_0) \omega^2}{2 \cos^6 \varphi_0}; \quad \varphi_0 = \arctg \frac{l}{r_0} \quad (4)$$



Значение  $M$  и  $\omega$  определяют мощность дисковой дробилки

$$W = M\omega + W_{\Pi}$$

где  $W$  - полная мощность,

$W_{\Pi}$  - мощность потерь в подшипниках вала.

Из формул (1) и (3) следует, что оптимальная угловая скорость примет вид

$$\omega_0 = \frac{\cos^2 \varphi_0}{r_0} \sqrt{\frac{2W_0}{5\rho r_0 h \sin \alpha (1 - \cos^6 \varphi_0)}}$$

где  $\varphi_0 = \arctg \frac{l}{r_0}$ ,

$W_0 = W$  - в строке **min**  $\Pi$  (табл. 1),

$l$  - длина ножа,

$h$  - ширина ножа,

$r_0$  - радиус кольца диска.

Из таблицы №1 видно, что минимальное значение критерия оптимальности

$\Pi = 54,621$ . При данном значении

критерия оптимальности мощность

$W$  - принимает значение равное 260 Вт,

а производительность  $G$  - значение, равное 4,76 г/с.

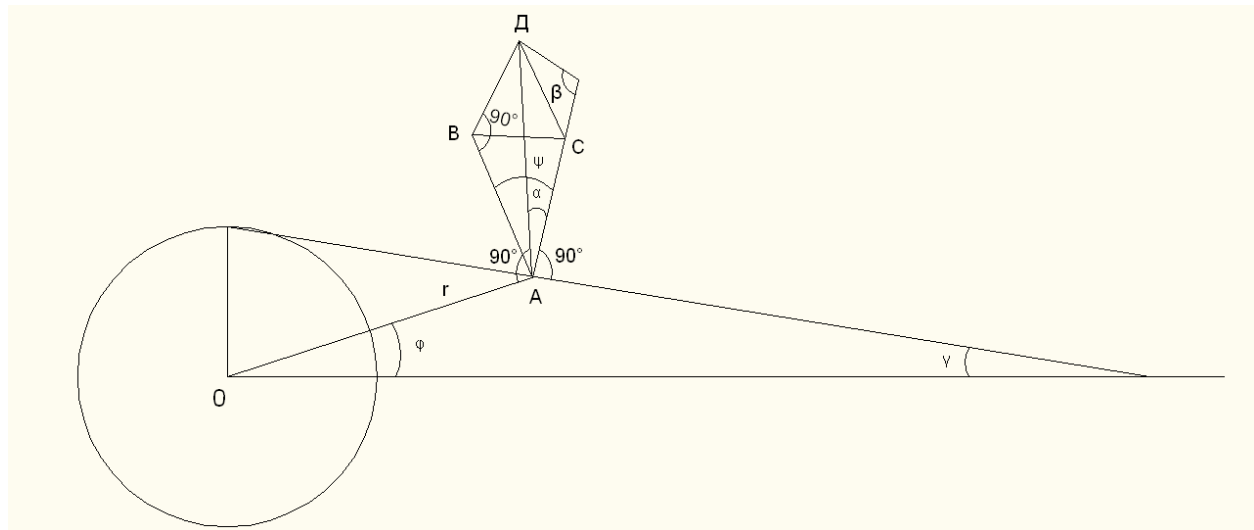
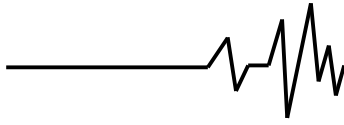
Данные значения являются оптимальными для данной конструкции. Поэтому оптимальная угловая скорость равна

$$\omega_0 = \frac{260 - W_{\Pi}}{M}$$

Таблица 1

Выбор оптимальной мощности

№	Производительность	Мощность	Критерий оптимальности
	г/с	Вт	
1	2,13	230	107,981
2	2,33	245	105,150
3	2,56	270	105,468
4	2,70	285	105,555
5	2,86	300	104,895
6	2,27	225	99,118
7	2,44	240	98,360
8	2,70	250	92,592
9	2,86	275	96,153
10	3,23	290	89,783
11	2,44	215	88,114
12	2,63	225	85,551
13	2,94	245	83,333
14	3,45	260	75,362
15	4,00	275	68,750
16	2,78	210	75,539
17	3,13	215	68,690
18	3,70	235	63,513
19	4,17	250	59,952
20	4,76	260	54,621



**Рис. 1.** Угол атаки сур'я на поверхню ножа

### **Литература**

1. Гладушняк О.К. Економія енергоресурсів при первинній переробці рослинної сировини / О.К. Гладушняк, К.В. Резнік, Н.І. Чумак // Одеса: Холодильна техніка і технологія, 2008 №2.-стр.47-49.
2. Тележенко Л.М. Техніко-технологічні засоби збереження біологічно-активних речовин фруктової сировини при переробці на соки та соковмісні продукти / Л.М. Тележенко, А.Т. Безусов, О.К. Гладушняк, // Одеса: Холодильна техніка і технологія, 2004 №3.-стр.58-60.
3. Гладушняк О.К. Нова технологія виробництва плодово-ягідних напівфабрикатів для виробництва морозива / О.К. Гладушняк, Н.П. Липнятов, Н.І. Чумак // Одеса: Холодильна техніка і технологія, 2002 №3.-стр.43-46.
4. Гладушняк О.К. Економія енергоресурсів при виробництві пюреподібних рослинних напівфабрикатів в харчовій промисловості / О.К. Гладушняк, К.В. Резнік, Н.І. Чумак, І.В. Федоренко // Одеса: Харчова наука і технологія, 2009 №3.-стр.100-101.
5. Бурдо О.Г., Калинин Л.Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах: Учебник.- Одесса: Друк, 2008.- 348 с.- на русск. языке.