

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАШИНЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОМПОСТОВ

В.В. Миронов, М.В. Криволапов, Е.К. Абакумов

ФГОУ ВПО «Мичуринский государственный аграрный университет», г. Мичуринск

Рецензент А.И. Завражнов

Ключевые слова и фразы: барабан; зависимость; компост; лопасть; машина; плотность; производительность; угол наклона; частота.

Аннотация: Производительность нижнего измельчающего барабана машины для приготовления компостов определяет производительность машины в целом и прямо пропорционально зависит от следующих параметров: частоты вращения барабана, плотности компостной смеси, диаметра барабана, ширины захвата лопастей и их количества, величины подачи материала на одну лопасть, а также от угла установки лопастей к оси барабана. Получены аналитические зависимости производительности измельчающего барабана от угла установки лопастей.

Производительность машины для приготовления компостов [1] зависит от производительности нижнего измельчающего барабана.

Определим производительность нижнего измельчающего барабана, лопасти которого имеют непосредственный контакт с буртом в процессе работы. Каждая лопасть данного барабана отделяет определенный объем материала от бурта (рис. 1, а). Если представить, что отделяемый объем сохраняет целостность и не распадается в процессе снятия на части, то он определяется объемом стружки, представленной на рис. 1, б.

Объем стружки, снимаемой одной лопастью с заданной подачей S_z на нее материала, определится по формуле

$$V = l_d b_l h = l_d b_l S_z, \quad (1)$$

где l_d – длина дуги контакта (длина дуги снимаемой стружки), м; b_l – ширина захвата лопастью материала (ширина снимаемой стружки), м; h – высота снимаемой стружки, м, $h = S_z$.

Миронов В.В. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Прикладная механика» МичГАУ; Криволапов М.В.; Абакумов Е.К. – студенты инженерного факультета МичГАУ, г. Мичуринск.

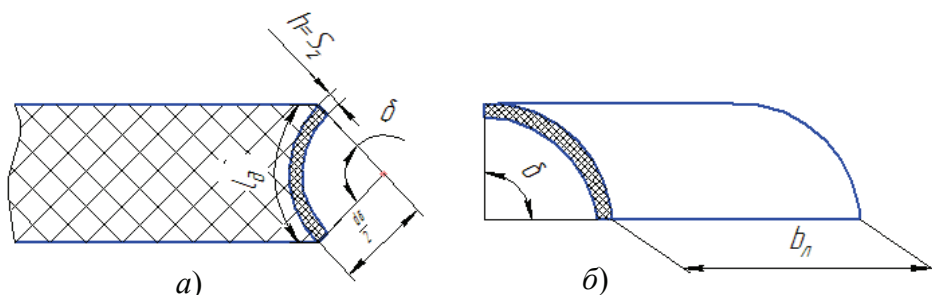


Рис. 1. Снятие лопастью измельчающего барабана стружки материала

Длину дуги контакта находим по формуле

$$l_d = \frac{d_6}{2} \delta, \quad (2)$$

где d_6 – диаметр цилиндра, описываемого вокруг кромок лопастей и имеющего центральную ось, совпадающую с осью вращения барабана, м; δ – центральный угол, определяемый дугой контакта лопасти с материалом, рад.

С учетом выражения (2) соотношение (1) запишется в виде

$$V = \frac{d_6}{2} \delta b_n S_z. \quad (3)$$

Пусть лопасть проходит угол δ в материале за некоторое время t_x . Тогда угол δ можно выразить формулой

$$\delta = \omega t_x. \quad (4)$$

где ω – угловая скорость вращения барабана, c^{-1} .

Тогда выражение (3) с учетом (4) запишется

$$V = \frac{d_6}{2} \omega t_x b_n S_z. \quad (5)$$

Масса стружки, снимаемой одной лопастью, равна

$$m = \rho V = \rho \frac{d_6}{2} \omega t_x b_n S_z, \quad (6)$$

где ρ – плотность компостируемого материала в бурте, $кг/м^3$.

Определяем производительность одной лопасти по формуле

$$Q_1 = \frac{m}{t}, \quad (7)$$

где t – время, за которое отделяется от бурта масса материала m . Очевидно $t = t_x$. Подставляя выражение (6) в (7) получаем

$$Q_1 = \rho \frac{d_6}{2} \omega b_n S_z. \quad (8)$$

Определим производительность лопасти в зависимости от числа оборотов барабана n :

$$\omega = \frac{\pi n}{30},$$

$$Q_1 = \frac{\pi n \rho d_6 b_{\text{л}} S_z}{60}. \quad (9)$$

За каждый оборот барабана в рабочем процессе участвует z лопастей, или общее число лопастей на барабане. Тогда производительность барабана составляет:

$$Q_u = Q_1 z, \text{ или} \quad (10)$$

$$Q_u = \frac{\pi n \rho d_6 b_{\text{л}} S_z z}{60}. \quad (11)$$

Уравнение (11) можно назвать *общим уравнением производительности измельчающего барабана*.

Рассмотрим частные случаи определения производительности измельчающего барабана при различных положениях лопастей. При этом в зависимости от положения лопастей и их геометрии находится ширина захвата лопастью материала $b_{\text{л}}$.

Вариант 1. Радиальная установка лопастей. При радиальной установке лопастей $b_{\text{л}} = b$, где b – толщина лопасти (рис. 2, а). Производительность в этом случае равна

$$Q_{u,\beta=0} = \frac{\pi n \rho d_6 b S_z z}{60}. \quad (12)$$

Вариант 2. Установка лопастей по образующей цилиндра. При установке лопастей по образующей цилиндра барабана $b_{\text{л}} = l$, где l – длина лопасти (рис. 2, б). Производительность определится как

$$Q_{u,\beta=\frac{\pi}{2}} = \frac{\pi n \rho d_6 l S_z z}{60}. \quad (13)$$

Вариант 3. Установка лопасти под углом к плоскости вращения. При установке лопастей под некоторым углом β к плоскости вращения (рис. 2, в), где $\beta \in \left(0, \dots, \frac{\pi}{2}\right)$, ширина захвата $b_{\text{л}}$ находится в зависимости от ряда конструктивных параметров. В частности, ширину захвата можно выразить в виде

$$b_{\text{л}} = l_1 \sin \beta, \quad (14)$$

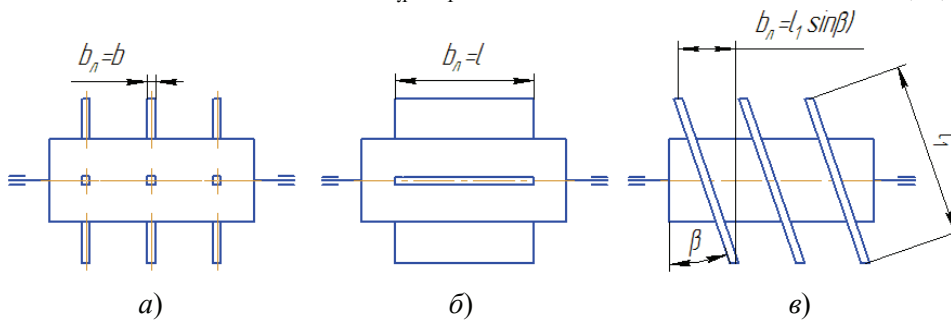


Рис. 2. Ширина захвата лопасти $b_{\text{л}}$ при различных положениях лопастей

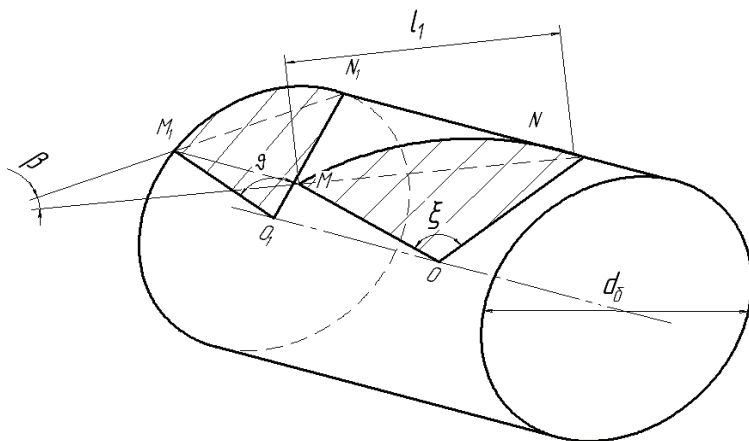


Рис. 3. Взаимное положение основных расчетных параметров, определяющих ширину захвата $b_{\text{л}}$

где l_1 – длина отрезка, соединяющего крайние точки дуги лопасти, м (рис. 3).

Рассмотрим определение l_1 более подробно. Параметр l_1 определим как функцию

$$l_1 = f(d_0, \xi), \quad (15)$$

где ξ – центральный угол дуги лопасти, рад.

При этом обычно при расположении на барабане лопастей конструктивно задается такой параметр, как угол ϑ , который представляет собой проекцию центрального угла лопасти на плоскость вращения. Он позволяет распределить лопасти на барабане определенным образом. Определим угол ξ как зависимость от угла ϑ

$$\xi = f(\vartheta, \beta), \quad (16)$$

т.е. зависимость (15) запишется как

$$l_1 = f(d_0, \vartheta, \beta). \quad (17)$$

При расположении лопасти под некоторым углом к плоскости вращения, лопасть представляет собой часть эллипса (рис. 4, б), а ее проекция – часть окружности (рис. 4, в). Опишем вокруг лопасти эллипс, вокруг проекции – окружность.

Пусть окружность располагается в прямоугольных декартовых координатах (x_1, y_1) , а эллипс – в (x_2, y_2) . Примем, что по оси y_2 располагается меньшая полуось эллипса a , а по оси x_2 – большая полуось b . Будем считать, что эллипс получается из окружности поворотом оси абсцисс относительно оси ординат на угол β .

Преобразуем декартовы координаты (x_2, y_2) в систему координат (x_1, y_1) и получим следующие соотношения:

$$x_2 = \frac{x_1}{\cos\beta} \quad (\text{из } \triangle AO_1O); \quad (18)$$

$$y_2 = y_1, \quad (19)$$

так как поворот осуществляется вокруг оси ординат.

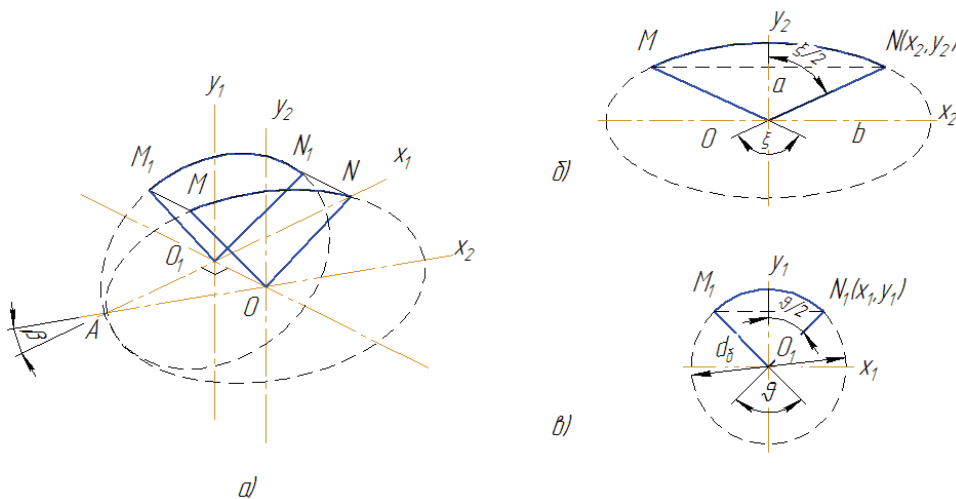


Рис. 4. Лопасть и ее проекция в прямоугольных декартовых координатах

Возьмем некоторую точку $N(x_2, y_2)$ на прямой, проходящей через центр эллипса, отклоненной от оси ординат y_2 на угол $\xi/2$. Она проецируется в точку $N_1(x_1, y_1)$ на прямой, проходящей через центр окружности, отклоненной от оси ординат y_1 на угол $\vartheta/2$. Очевидно, что:

$$\frac{x_2}{y_2} = \operatorname{tg} \frac{\xi}{2}, \quad (20)$$

$$\frac{x_1}{y_1} = \operatorname{tg} \frac{\vartheta}{2}. \quad (21)$$

Учитывая соотношения (18), (19) преобразуем уравнение (20) к виду

$$\frac{x_1}{y_1} \frac{1}{\cos \beta} = \operatorname{tg} \frac{\xi}{2}. \quad (22)$$

Подставляя формулу (22) в уравнение (21) получаем:

$$\frac{\operatorname{tg}(\vartheta/2)}{\cos \beta} = \operatorname{tg} \frac{\xi}{2},$$

$$\frac{\xi}{2} = \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{tg}(\vartheta/2)}{\cos \beta} \right), \quad (23)$$

$$\xi = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{tg}(\vartheta/2)}{\cos \beta} \right). \quad (24)$$

Полученное уравнение (24) определяет зависимость (16), обозначенную выше.

Определим длину отрезка, соединяющего крайние точки дуги лопасти l_1 (на рис. 4, б отрезок MN) как вышеуказанную зависимость (17).

Пусть точка N – одна из двух крайних точек дуги лопасти, имеет координаты (x_2, y_2) . Тогда

$$l_1 = 2x_2. \quad (25)$$

Каноническое уравнение окружности, описываемой вокруг проекции дуги лопасти (см. рис. 4, в), имеет вид

$$x_1^2 + y_1^2 = \left(\frac{d_6}{2}\right)^2. \quad (26)$$

Перепишем данное уравнение относительно системы координат (x_2, y_2) , учитывая соотношения (18) и (19),

$$x_2^2 \cos^2 \beta + y_2^2 = \left(\frac{d_6}{2}\right)^2. \quad (27)$$

Выразим из уравнения (20) y_2 и возведем полученное выражение в квадрат,

$$y_2^2 = \frac{x_2^2}{\operatorname{tg}^2(\xi/2)}. \quad (28)$$

Заменим в выражении (27) параметр y_2^2 на соотношение (28)

$$x_2^2 \cos^2 \beta + \frac{x_2^2}{\operatorname{tg}^2(\xi/2)} = \frac{d_6^2}{4}. \quad (29)$$

Выражаем из полученной формулы (29) x_2

$$x_2^2 \left(\cos^2 \beta + \frac{1}{\operatorname{tg}^2(\xi/2)} \right) = \frac{d_6^2}{4},$$

$$x_2^2 = \frac{d_6^2}{4 \left(\cos^2 \beta + \frac{1}{\operatorname{tg}^2(\xi/2)} \right)},$$

$$l_1 = \frac{d_6}{\sqrt{\cos^2 \beta + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \left(\arctg \left(\frac{\operatorname{tg}(\vartheta/2)}{\cos \beta} \right) \right)}}}. \quad (30)$$

То есть, исходя из уравнения (25)

$$l_1 = \frac{d_6}{\sqrt{\cos^2 \beta + \frac{1}{\operatorname{tg}^2(\xi/2)}}}. \quad (31)$$

Подставляем выражение (23) в уравнение (31):

$$l_1 = \frac{d_6}{\sqrt{\cos^2 \beta + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \left(\arctg \left(\frac{\operatorname{tg}(\vartheta/2)}{\cos \beta} \right) \right)}}},$$

$$l_1 = \frac{d_6}{\sqrt{\cos^2 \beta + \frac{\cos^2(\beta)}{\operatorname{tg}^2(9/2)}}},$$

$$l_1 = \frac{d_6}{\cos \beta \sqrt{1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2(9/2)}}}. \quad (32)$$

Полученное уравнение (32) определяет зависимость (17), обозначенную нами выше.

Конечное выражение, определяющее ширину контакта $b_{\text{л}}$ лопасти, установленной под углом $\beta \in \left(0 \dots \frac{\pi}{2}\right)$ к плоскости вращения, с учетом формул (14) и (32), определится как:

$$b_{\text{л}} = \frac{d_6}{\cos \beta \sqrt{1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2(9/2)}}} \sin \beta,$$

$$b_{\text{л}} = \frac{d_6 \operatorname{tg} \beta}{\sqrt{1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2(9/2)}}}. \quad (33)$$

Частное уравнение производительности лопасти, установленной под углом к плоскости вращения, с учетом выражения (33), определится как

$$Q_{u, \beta \in \left(0 \dots \frac{\pi}{2}\right)} = \frac{\pi n \rho d_6^2 S_z z \operatorname{tg} \beta}{60 \sqrt{1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2(9/2)}}}. \quad (34)$$

Theoretical Research into Productivity of Compost Production Machine

V.V. Mironov, M.V. Krivolapov, G.K. Abakumov

The Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk

Key words and phrases: drum; dependence; compost; blade; machine; density; productivity; slope; frequency.

Abstract: Productivity of the bottom crushing drum of compost production machine determines productivity of the machine as a whole and is directly proportional to the following parameters: frequency of drum rotation, compost mixtures density, drum diameter, width of blade capture and its number, the amount of stuff fed on one blade, as well as blades angle to a drum axis. Analytical dependences of productivity of crushing drum on a corner of installation of blades are produced.

© В.В. Миронов, М.В. Криволапов, Е.К. Абакумов, 2007