

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА РАЗГРУЗКИ УСТАНОВКИ УСКОРЕННОГО КОМПСТИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

А.И. Завражнов, В.В. Миронов, М.С. Колдин

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

Рецензент А.Н. Квочкин

Ключевые слова и фразы: дисковые фрезы; мощность; резание; силовые факторы; устройство разгрузки; энергоемкость.

Аннотация: Исследование процесса взаимодействия дисковых фрез устройства разгрузки с компостируемым материалом позволило установить теоретические зависимости значений суммарных затрат мощности, производительности, а также удельной энергоемкости процесса выгрузки с учетом различных конструктивных и режимных параметров.

Получение органических удобрений высокого качества путем переработки отходов животноводства возможно лишь в результате применения высокотехнологичных непрерывно-поточных производств. Данное условие позволяет значительно сократить сроки переработки, а также обеспечить высокие агрохимические свойства получаемой продукции.

Основой всей цепочки непрерывного технологического процесса является применение вертикальных аэрационных биореакторов – бункерных установок, принцип работы которых основан на верхней загрузке тщательно подготовленного компостируемого сырья и нижней выгрузке продукта переработки совместно с активной аэрацией при помощи устройства подачи воздушной смеси [1, 2]. Недостатком установок ускоренного компостирования является конструктивная недоработка систем выгрузки продукта переработки в результате применения достаточно распространенных, но малоэффективных шнековых, скребковых и лопастных устройств, которые не обеспечивают рыхлой структуры выгружаемого материала и тем самым снижают его товарные качества. К тому же нарушение техно-

Завражнов А.И. – академик РАСХН, доктор технических наук, профессор, ректор МичГАУ; Миронов В.В. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Прикладная механика и конструирование машин» МичГАУ; Колдин М.С. – аспирант кафедры «Прикладная механика и конструирование машин» МичГАУ, г. Мичуринск.

логического процесса выгрузки компостируемых смесей часто характеризуется образованием устойчивых статических сводов, проблему которых с точки зрения энергоемкости невозможно решить применением вышеуказанных устройств.

Целью нашей работы является повышение эффективности работы биореактора за счет совершенствования процесса его разгрузки.

Для достижения поставленной цели нами была разработана конструктивно-технологическая схема принципиально нового устройства разгрузки, новизна которой подтверждена положительным решением на выдачу патента на полезную модель [3]. Принцип работы устройства разгрузки основан на взаимодействии рабочих органов, выполненных в виде набора дисковых фрез, расположенных, по меньшей мере, на двух валах с выгружаемым материалом. При изучении этого процесса нами была рассмотрена модель процесса сводообразования (рис. 1), показывающая силовые характеристики выгружаемого материала – τ и σ_x , а также были получены зависимости, определяющие значения высоты стрелы свода – f , как главной характеристики, описывающей этот процесс и определяющей зону расположения рабочих органов внутри корпуса установки.

Силовые факторы, возникающие вдоль линии свода:

$$\sigma_x = P \cos(\alpha - \arctg \mu), \quad (1)$$

$$\tau = P \sin(\alpha - \arctg \mu). \quad (2)$$

Высота стрелы свода, м,

$$f = \frac{1}{8} b \operatorname{tg}(\alpha - \arctg \mu), \quad (3)$$

где α – угол наклона боковых стенок к горизонтали, град; μ – коэффициент внешнего трения выгружаемого материала по стальной поверхности

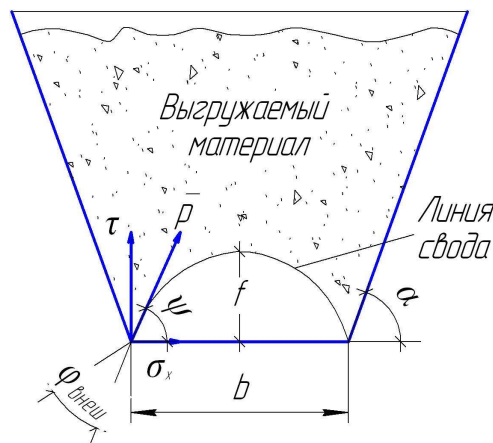


Рис. 1. Модель процесса сводообразования

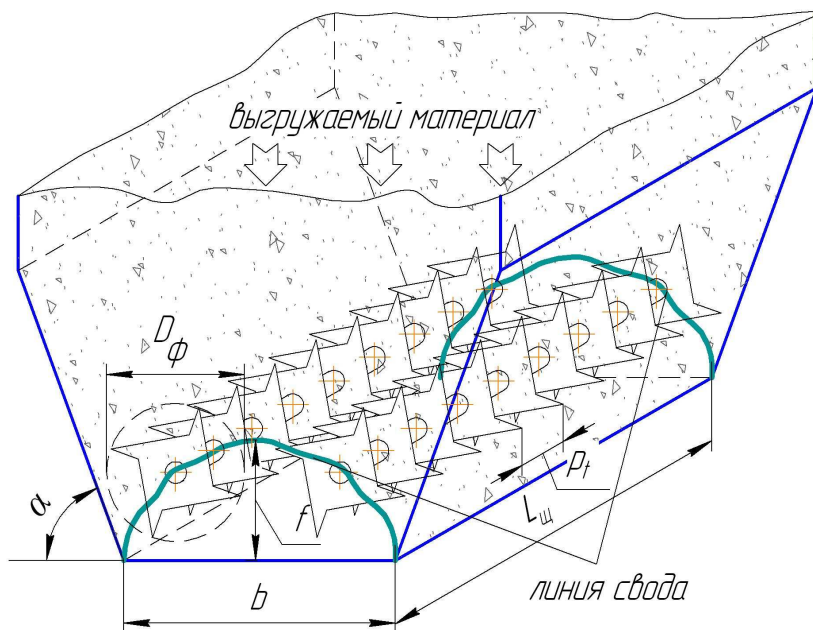


Рис. 2. Схема установки рабочих органов в корпусе аэрационного биореактора

$\mu = \text{tg}\varphi_{\text{внеш}}$; b – ширина выгрузного отверстия; ψ – угол между главным напряжением P и его проекцией на ось OX .

Рабочим органом устройства разгрузки является набор дисковых фрез диаметром D_ϕ (рис. 2).

Установка набора дисковых фрез с определенным шагом r_t на каждом горизонтально расположенном валу осуществляется в зоне подсводного пространства так, чтобы ось их вращения находилась на линии свода, точки которой определяются уравнением линии свода. В данном случае валы при вращении испытывают лишь незначительную часть нагрузки от вышележащих слоев выгружаемого материала, а рабочие органы, разрушая структуру свода, побуждают материал к движению в направлении выгрузного отверстия с шириной b и длиной $L_{ц}$.

Тем самым, установившийся процесс характеризуется непрерывным взаимодействием режущих кромок и боковых поверхностей вращающихся дисковых фрез сдвигающимся материалом.

Определив место размещения рабочих органов устройства разгрузки, был проведен кинематический анализ работы дисковых фрез.

Характер взаимодействия рабочих органов при их вращении в массиве представляет собой фрезерование – отделение частей материала, которое способствует разрушению его структурности, и частичному отделению, главным образом, за счет процессов резания материала кромками ножей фрез.

Рассмотрим взаимодействие режущей кромки ножа (зуба) вращающейся дисковой фрезы с частицей выгружаемого материала (рис 3).

На частицу материала, во время ее отделения одной режущей кромкой, действуют силы: сила воздействия зуба F_3 , направленная перпендикулярно радиусу, проведенному от оси вращения дисковой фрезы к точке

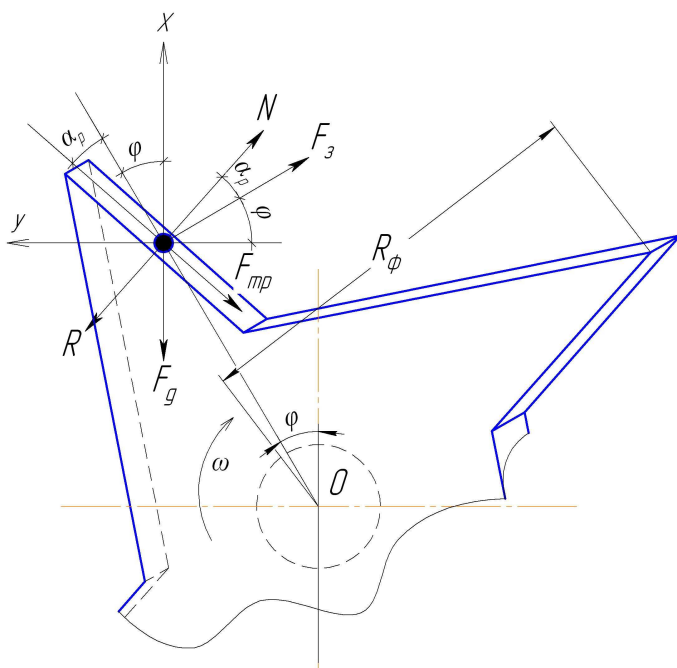


Рис. 3. Схема сил, действующих на частицу материала при отделении стружки

взаимодействия частицы с ножом; сила трения $F_{тр}$ частицы о поверхность ножа, направленная вдоль ножа в сторону противоположную движению; сила тяжести F_g , направленная по вертикали; сила нормального давления N ножа на частицу, направленная перпендикулярно поверхности ножа и реакция частицы R , направленная в противоположную сторону относительно сил давления. При внедрении ножа в материал отделяемый элемент окажется зажатым между режущей кромкой зуба, с углом заточки β и другими элементами материала. Со стороны материала будет возникать реакция R , значение которой определится в большей степени сопротивлением резанию с учетом угла заточки.

В результате теоретического анализа схемы взаимодействия, определив значения: суммарного усилия, расчетного значения радиуса и количества дисковых фрез; требуемого количества валов с рабочими органами, была получена формула общих затрат мощности и производительность устройства разгрузки.

Параметрическое уравнение кривой движения конца рабочего органа:

$$\begin{aligned} x &= R \sin(\omega t) + v_{п}t; \\ y &= R \cos(\omega t), \end{aligned} \quad (4)$$

где x и y – координаты точки рабочего органа в вертикальной прямоугольной системе координат; $v_{п}$ – поступательная скорость движения рабочих органов сквозь компостируемый материал во время выгрузки, $v_{п} = v_{ист}$, м/с; R – радиус окружности, описываемый лезвием ножа дисковой

фрезы при вращении, м; ω – угловая скорость вращения рабочего органа, рад/с; t – время с момента начала движения, с.

Значение мощности определится следующим образом:

$$N = N_3 + N_{xx}, \quad (5)$$

где N_3 – мощность, затрачиваемая при взаимодействии дисковых фрез с материалом, Вт; N_{xx} – мощность холостого хода, Вт.

Мощность привода устройства разгрузки, Вт,

$$N_3 = F_3 v_\phi z_\phi, \quad (6)$$

где $F_3 z_\phi$ – суммарное усилие, возникающее на всех рабочих органах уст-

ройства, Н; v_ϕ – скорость фрезерования, $v_\phi = l \frac{\omega}{\pi}$, м/с.

Согласно системе параметрических уравнений (4) длина траектории точки может быть найдена как длина дуги удлиненной циклоиды [4], м,

$$l = \frac{R\omega + v_\pi}{\omega} [\omega t - C(\omega t + \sin(\omega t))], \quad (7)$$

где $C = \frac{R\omega v_\pi}{(R\omega + v_\pi)^2}$ – кинематический параметр.

Данное выражение позволяет определить длину траектории точки при различных геометрических параметрах и режимах работы.

Суммарное усилие, воспринимаемое одной дисковой фрезой, Н,

$$F_3 = z_t \left[m \left(R_\phi \omega_{\phi p} \left(\frac{\phi}{\lambda} + \cos \phi \right) + g \left(\mu \frac{\sin 2(\alpha + \phi)}{2} - \sin^2(\alpha + \phi) + 1 \right) \right) + \right. \\ \left. + \sigma_{рез} b_n h_n \sin \left(\phi_{тр} + \frac{\beta}{2} \right) \mu \cos(\alpha + \phi) - \sin(\alpha + \phi) \right] / \sin \phi, \quad (8)$$

где z_t – количество ножей одной фрезы, участвующих в работе;

$$z_t = n_3 (\psi / 360), \quad (9)$$

где n_3 – количество ножей одной дисковой фрезы, шт.; ψ – угол, определяющий рабочую часть траектории, когда фреза находится в выгружаемом материале; μ – коэффициент внешнего трения частицы материала о поверхность ножа; R_ϕ – значение радиуса дисковой фрезы, м; α_p – угол скольжения режущей кромки ножа; ϕ – угол поворота ножа относительно оси вращения;

$$R_\phi = \sigma_{рез} b_n h_n \sin \left(\phi_{тр} + \frac{\beta}{2} \right), \text{ Н}, \quad (10)$$

где $\sigma_{рез}$ – напряжение резания выгружаемого материала, Па; $\phi_{тр}$ – угол трения компостируемого материала по стальной поверхности; b_n – ширина ножа фрезы, м; h_n – длина режущей кромки ножа фрезы, м; β – угол за-

точки зуба (ножа); m – масса материала, отделяемая одним ножом (зубом) фрезы, кг;

$$m = \gamma_m V_1 = \gamma_m b_n \left[R^2 \frac{\omega t}{2} - \frac{R^2}{4} \sin(2\omega t) + \frac{V_n R}{\omega} \cos(\omega t) \right], \quad (11)$$

где γ_m – массовая плотность выгружаемого материала, кг/м³; V_1 – объем срезаемой стружки одним ножом фрезы, м³.

Общее количество фрез z_ϕ можно определить как произведение числа параллельно расположенных валов k_b и отношения длины вала устройства разгрузки к шагу установки фрез

$$z_\phi = \left(\frac{B}{p_t} - 1 \right) k_b, \text{ шт.}, \quad (12)$$

где B – длина рабочего органа с набором фрез, м; p_t – шаг установки дисковых фрез, м.

Мощность холостого хода определяется как мощность, затрачиваемая на преодоление сил инерции при вращении рабочих органов,

$$N_{xx} = T_{кр} \omega_\phi / \eta, \text{ Вт}, \quad (13)$$

где $T_{кр}$ – крутящий момент на валу с рабочими органами устройства разгрузки, Н·м; ω_ϕ – угловая скорость вращения рабочих органов, с⁻¹; η – КПД привода устройства.

Крутящий момент, Н·м, определяется как

$$T_{кр} = m_n g R_\phi, \quad (14)$$

где m_n – масса рабочих органов, кг.

Учитывая (14), мощность холостого хода, Вт,

$$N_{xx} = \frac{m_n g R_\phi \omega_\phi}{\eta}. \quad (15)$$

Энергоемкость процесса выгрузки определяется как отношение потребляемой мощности к производительности устройства разгрузки, Вт·с/кг,

$$N_{уд} = \frac{N}{Q}. \quad (16)$$

Определение значения производительности устройства разгрузки производится на основе массового расхода выгружаемого материала за счет отделения рабочими органами определенной площади стружки, которая зависит от кинематических параметров работы дисковых фрез.

Общая масса выгружаемого материала складывается из площади снимаемой стружки с учетом межфрезерного пространства.

Тем самым, производительность устройства разгрузки равна, кг/с,

$$Q = \gamma_m \frac{A_1 (p_t + b_n)}{t} z_t z_\phi, \quad (17)$$

где A_1 – площадь стружки отделяемой одним ножом дисковой фрезы, m^2 ; p_t – шаг установки дисковых фрез, m ; t – время отделения стружки одним ножом дисковой фрезы, s .

$$\text{Учитывая, что } t = \frac{1}{2n} = \frac{\pi}{\omega}.$$

Производительность, kg/s , с учетом времени отделения стружки одним ножом, а также значения площади:

$$Q = \left(R^2 \frac{\omega t}{2} - \frac{R^2}{4} \sin(2\omega t) + \frac{v_n R}{\omega} \cos(\omega t) (p_t + b_n) \right) \frac{\gamma_m \omega z_t z_\phi}{\pi}. \quad (18)$$

Теоретические исследования процесса выгрузки компостируемых материалов на основе разработки принципиально новой конструктивно-технологической схемы устройства разгрузки позволили:

- определить высоту стрелы сводообразования над выгрузным отверстием определенной ширины для компостируемых материалов с различными технологическими свойствами;
- найти значения скорости движения материала при выгрузке при различных технологических свойствах и параметрах установки;
- выявить наиболее оптимальные значения геометрических параметров рабочих органов устройства разгрузки;
- установить зависимости значений суммарных затрат мощности, производительности, а также удельной энергоемкости процесса выгрузки компостируемых материалов с различными свойствами при изменении режимных параметров устройства разгрузки.

Список литературы

1. Обоснование поточной технологии ускоренного компостирования отходов на фермах КРС / А.И. Завражнов [и др.] / Вестник МичГАУ. – 2006. – №1.
2. Аэрационный биореактор / В.В. Миронов, В.Д. Хмыров, П.С. Никитин, М.С. Колдин // Положительное решение по заявке РФ №2004132670/035456 на получение патента на изобретение. Приоритет от 09.11.2004.
3. Установка для компостирования / А.И. Завражнов, В.П. Капустин, В.В. Миронов, М.С. Колдин, П.С. Никитин // Положительное решение по заявке РФ №2007125749/22(028044) на получение патента на полезную модель. Приоритет от 06.07.2007.
4. Пустыгина, М.Л. Циклоидальные кривые как основа расчета параметров рабочих органов сельскохозяйственных машин / М.Л. Пустыгина // Техническая механика в сельскохозяйственном производстве : труды МИИСП. – Москва, 1977. – Т. 14, вып. 9. – С. 5–10.

**Research into Energy Capacity
of Process of Unloading the Device for Accelerated Composting
of Organic Raw Materials**

A.I. Zavrazhnov, V.V. Mironov, M.S. Koldin

Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk

Key words and phrases: disk mills; capacity; cutting; power factors; unloading device; energy capacity.

Abstract: The research into the process of interaction between disk mills of the unloading device and composted material enables to establish theoretical dependences of values of total expenses of capacity, productivity as well as specific power consumption of the process of unloading with regard for various design and mode parameters.

© А.И. Завражнов, В.В. Миронов, М.С. Колдин, 2008

Сведения об авторах:

1. Завражнов Анатолий Иванович, академик РАСХН, д.т.н., профессор, ректор МичГАУ, тел. (475-45) 5-31-37, факс (475-45) 5-26-35
2. Миронов Владимир Витальевич, к. т. н., доцент, зав. кафедрой Прикладной механики и конструирования машин МичГАУ, тел. (475-45) 5-25-24
3. Колдин Михаил Сергеевич, аспирант каф. Прикладной механики и конструирования машин МичГАУ