

УДК 631.636.4

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АЭРАТОРА КОМПОСТНЫХ СМЕСЕЙ

Шевченко И. А., докт. техн. наук, чл.-кор. НААН, профессор

Ковязин А. С., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

Харитонов В. И., аспирант¹

Институт механизации животноводства Национальной академии аграрных наук Украины

Тел./факс: (061) 289-81-44

Величко И. Г., канд. физ.-мат. наук, профессор

Запорожский национальный технический университет Министерства образования и науки, молодёжи и спорта Украины

Тел./факс: (061) 264-21-41

Теоретически обоснованы параметры аэратора компостных смесей, обеспечивающие надежное формирование компостного бурта.

Ключевые слова: надежное формирование бурта, траектория частиц, параметры барабана аэратора.

Проблема. Выполнение технологического процесса ускоренного биотермического компостирования органических сельскохозяйственных отходов на площадках для компостирования связано с выполнением целого ряда технологических операций: смешивания исходных компонентов компостной смеси, формирование бурта, перелопачивание (разрыхление) компостной смеси в бурте, их механической аэрации, увлажнения и т. д. На сегодня в Украине отсутствуют отечественные технические средства, которые были бы способны комплексно выполнять указанные технологические операции. Перспективным с этой точки зрения является создание нового высокопроизводительного технического средства непрерывного действия с совершенными рабочими органами.

Технологически наиболее привлекательными остаются рабочие органы ротационного типа, которые способны выполнять отделения материала от основного массива, разрыхление, смешивания, передвижения и опрокидывания с одной технологической зоны в другую. Учитывая, что такие рабочие органы выполняют совместно несколько функций, их конструктивные и режимные параметры имеют

¹ Научный руководитель – Шевченко И. А., докт. техн. наук, чл.-кор. НААН, профессор

усредненные, а иногда компромиссные значение в зависимости от физико-механических свойств компостных материалов.

Разработка математических моделей, позволяющих оптимизировать параметры рабочих органов, позволит минимизировать энергозатраты на единицу перерабатываемого продукта (компоста).

Анализ последних исследований и публикаций. Теоретическому обоснованию параметров барабанных рабочих органов посвящены работы [1–3] и работы многих других исследователей, однако в этих работах не рассматривался аспект надежного формирования компостного бурта.

Цель. Обосновать параметры аэратора компостных смесей, обеспечивающие надежное формирование компостного бурта.

Материалы и методы. Внешний радиус барабана аэратора обосновали исходя из геометрических соотношений. При обосновании внутреннего радиуса барабана аэратора использовали второй закон Ньютона. Угловую скорость барабана аэратора определяли из условия пропускной способности. Траекторию полета частиц определяли с помощью методов внешней баллистики. Для аппроксимации данных, полученных в результате теоретических экспериментов, использовался метод наименьших квадратов. Применялась система компьютерной математики для решения дифференциальных уравнений и упрощения выражений.

Результаты исследований. Рассмотрим расчетную схему (рис. 1).

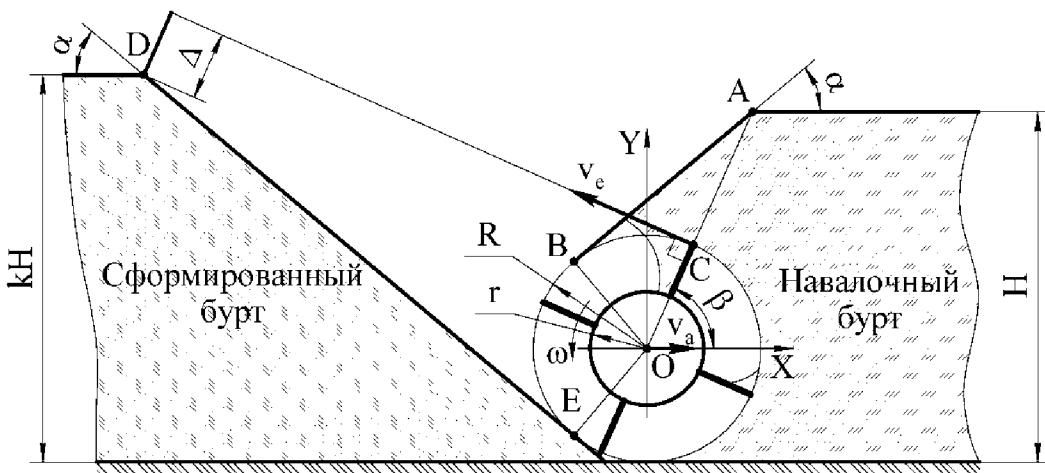


Рисунок 1 – Расчетная схема для обоснования внешнего радиуса барабана аэратора

Принимаем следующие допущения:

- рассматриваем плоскую задачу;
- прямая AB , определяющая поверхность навалочного бурта, расположена под углом естественного откоса α (этот угол зависит от типа и влажности компоста, его агрегатного состава, и является важнейшей физико-механической характеристикой материала) к горизонту и является касательной к окружности радиуса R ;
- лопасти на барабане установлены радиально;
- первая порция компоста начинает покидать лопасть с момента, когда лопасть находится на прямой AO ;
- скорость первой порции компоста относительно лопасти равна нулю, а ее скорость полета v равна окружной скорости барабана и перпендикулярна прямой AO ;
- траектория полета частиц первой порции компоста имеет прямолинейную форму.

Введем прямоугольную систему координат XOY с началом в оси барабана и осью OX параллельной горизонту.

Уравнение прямой AB

$$y = \operatorname{tg} \alpha x + \frac{R}{\cos \alpha}, \quad (1)$$

где R – внешний радиус барабана аэратора, м.

Используя уравнение (1), определили координаты точки A :

$$x_A = \left(H - R - \frac{R}{\cos \alpha} \right) \operatorname{ctg} \alpha; \quad y_A = H - R, \quad (2)$$

где H – высота навалочного бурта, м.

Прямая, проходящая через точки A и O представляется уравнением [4]

$$\frac{x - x_O}{x_A - x_O} = \frac{y - y_O}{y_A - y_O}. \quad (3)$$

Тогда уравнение прямой AO

$$y = \frac{(H - R)}{\left(H - R - \frac{R}{\cos \alpha} \right) \operatorname{ctg} \alpha} x. \quad (4)$$

Координаты точки C – точки пересечения окружности радиуса R с прямой AO найдем из следующей системы уравнений

$$\begin{cases} x_C^2 + y_C^2 = R^2; \\ y_C = \frac{(H-R)}{\left(H-R-\frac{R}{\cos\alpha}\right)\operatorname{ctg}\alpha} x_C. \end{cases} \quad (5)$$

Откуда координаты точки C

$$x_C = \frac{R((H-R)\cos\alpha - R)}{\sqrt{H^2 - 2HR + 2R^2 - 2R(H-R)\cos\alpha}}; \quad y_C = \sqrt{R^2 - x_C^2}. \quad (6)$$

Для уменьшения энергоемкости процесса лопасти аэратора не должны взаимодействовать с компостом, находящимся в сформированном бурте (рис. 1). Поэтому поверхность сформированного бурта, находящаяся также под углом естественного откоса α к горизонту должна находиться на определенном расстоянии от зоны действия лопастей аэратора. Однако чем больше будет это расстояние, тем больше энергии будет затрачено на формирование бурта. Таким образом, прямая DE , определяющая поверхность сформированного бурта, должна быть касательной к окружности радиуса R .

Уравнение прямой DE

$$y = -\operatorname{tg}\alpha x - \frac{R}{\cos\alpha}. \quad (7)$$

Используя уравнение (7), определили координаты точки D :

$$x_D = \left(R - kH - \frac{R}{\cos\alpha}\right)\operatorname{ctg}\alpha; \quad y_D = kH - R, \quad (8)$$

где k – коэффициент, учитывающий усадку сформированного бурта с течением времени (то есть сформированный бурт должен иметь несколько большую высоту по сравнению с навалочным) и непрямолинейность траектории полета частиц первой порции компоста (частично компенсирует последнее допущение), в первом приближении принимаем $k = 1,1$.

Уравнение прямой, описывающей траектории полета частиц первой порции компоста (проходит через точку C и перпендикулярна прямой AO)

$$y = y_c - \frac{\left(H - R - \frac{R}{\cos \alpha} \right) \operatorname{ctg} \alpha}{H - R} (x - x_c). \quad (9)$$

Расстояние от точки D до прямой, описывающей траекторию полета частиц первой порции компоста

$$\Delta = \frac{(H - R)(y_c - y_D + (x_c - x_D) \operatorname{ctg} \alpha) + \frac{x_D - x_c}{\sin \alpha} R}{\sqrt{(H - R)^2 + \left(H - R - \frac{R}{\cos \alpha} \right)^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha}}. \quad (10)$$

Для определения внешнего радиуса барабана при заданных высоте навалочного бурта H и угле естественного откоса компоста α рассмотрим рисунок 2.

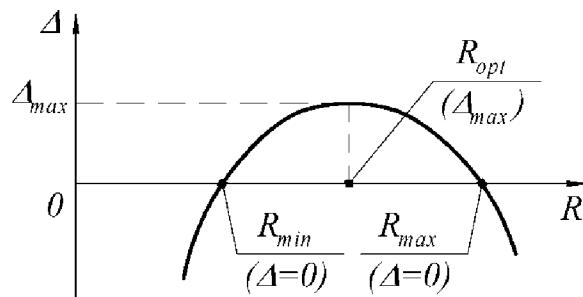


Рисунок 2 – Характер влияния внешнего радиуса барабана аэратора на расстояние между сформированным буртом и траекторией полета частиц первой порции компоста

При внешнем радиусе барабана $R < R_{min}$ и $R > R_{max}$ расстояние между сформированным буртом и траекторией полета частиц первой порции компоста $\Delta < 0$. То есть вектор скорости v направлен в формирующийся бурт ниже точки D . Это не позволяет сформировать бурт высотой kH , а, значит, после усадки сформированного бурта с течением времени он будет иметь высоту меньше H , что в технологическом аспекте не является благоприятным, поскольку при этом бурт растягивается по ширине и для последующей обработки компоста потребуется аэратор с большей шириной захвата.

Поэтому для надежного формирования бурта $\Delta \rightarrow max$, а внешний радиус барабана R_{opt} , обеспечивающий Δ_{max} , следует считать оптимальным при заданных H и α . В последующем индекс *opt* опускаем.

В системе компьютерной математики [5] была разработана программа и получены результаты, оформленные в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Оптимальные внешние радиусы барабана аэратора R
при различных высотах навалочного бурта H
и углах естественного откоса компоста α

$H, \text{ м}$	$\alpha, \text{ град.}$					
	40	42	44	46	48	50
0,8	0,125	0,130	0,135	0,141	0,149	0,158
1,0	0,157	0,162	0,168	0,176	0,186	0,197
1,2	0,188	0,194	0,202	0,212	0,223	0,237
1,4	0,219	0,227	0,236	0,247	0,260	0,276
1,6	0,251	0,259	0,270	0,282	0,298	0,316
1,8	0,282	0,292	0,303	0,318	0,335	0,355

Используя метод наименьших квадратов, получили функциональную зависимость $R = f(H, \alpha)$ вида

$$R = 0,3743H - 1,302 \cdot 10^{-2}H\alpha + 1,895 \cdot 10^{-4}H\alpha^2, \quad (11)$$

адекватно описывающую полученные данные и устанавливающую влияние параметров компостного бурта на внешний радиус барабана аэратора.

На рисунке 3 зависимость (11) представлена графически.

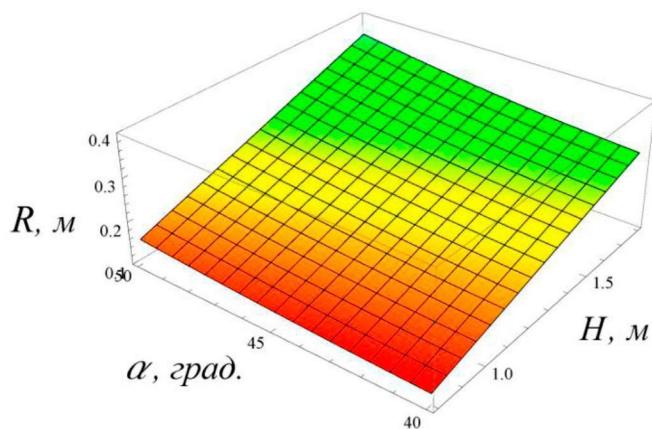


Рисунок 3 – Влияние параметров компостного бурта на внешний радиус барабана аэратора

Бурт будет формироваться при $\Delta \geq 0$. Тогда выражение (10) примет вид

$$\frac{(H-R)(y_C - y_D + (x_C - x_D) \operatorname{ctg} \alpha) + \frac{x_D - x_C}{\sin \alpha} R}{\sqrt{(H-R)^2 + \left(H-R-\frac{R}{\cos \alpha}\right)^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha}} \geq 0, \quad (12)$$

откуда при $\alpha = 45$ град. и $H = 1,0\text{--}1,8$ м барабан аэратора должен иметь внешний радиус $R = 0,3$ м.

Для обоснования внутреннего радиуса барабана аэратора r составим расчетную схему (рис. 4).

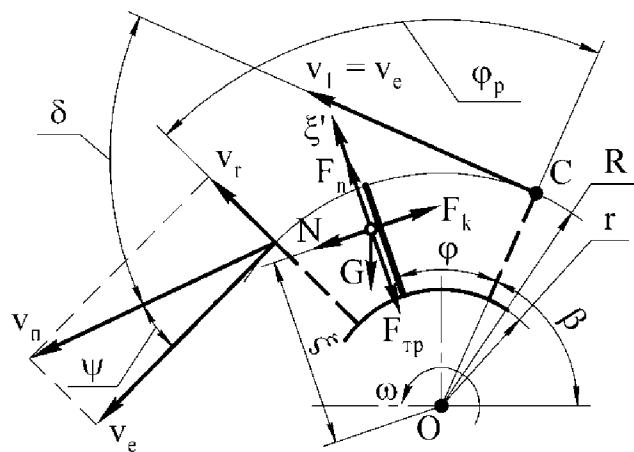


Рисунок 4 – Взаимодействие частицы компоста с лопастью барабана аэратора

На формирование бурта существенное влияние оказывает угол разброса материала δ – угол между векторами скоростей первой v_l и последней v_n порциями компоста.

В начальный момент времени лопасть находится под углом β к горизонту. Исходя из геометрических соотношений (рис. 1)

$$\beta = \alpha + \operatorname{arctg} \left(\frac{R \sin \alpha}{H - R(1 + \cos \alpha)} \right). \quad (13)$$

При этом порция компоста, которая последней покидает лопасть, имеет текущую координату $\xi = r$. Когда $\xi = R$ последняя порция покидает лопасть. Та-

ким образом, последняя порция компоста проходит путь по всей длине лопатки $s = R - r$ за время разгрузки t_p и угле разгрузки $\varphi_p = \omega t_p$.

Дифференциальное уравнение движения частицы компоста по поверхности лопасти в общем виде имеет вид [7]

$$m\xi'' = F_i. \quad (14)$$

На частицу действуют следующие силы:

1) сила тяжести

$$G = mg, \quad (15)$$

где m – масса частицы, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

проекция этой силы на лопасть

$$G_n = mg \sin(\varphi + \beta), \quad (16)$$

где φ – текущий угол поворота лопасти, рад;

2) центробежная сила

$$F_n = m\omega^2 \xi, \quad (17)$$

где ω – угловая скорость лопасти, рад/с;

3) сила Кориолиса

$$F_k = 2m\omega \xi', \quad (18)$$

где ξ' – относительная скорость частицы, м/с;

4) сила трения

$$F_{mp} = fN, \quad (19)$$

где f – коэффициент трения компоста о материал лопасти;

N – нормальная реакция поверхности лопасти, Н,

$$N = F_k + G \cos(\varphi + \beta). \quad (20)$$

Подставив в (20) выражения (18) и (15), а полученный результат в (19), получим

$$F_{mp} = f(2m\omega\xi' + mg \cos(\varphi + \beta)). \quad (21)$$

Подставив выражения сил из (16), (17) и (21) в (14), заменив φ на ωt , после преобразований получим дифференциальное уравнение движения частицы компоста по поверхности лопасти

$$\xi'' + 2f\omega\xi' - \omega^2\xi = -g(\sin(\omega t + \beta) + f \cos(\omega t + \beta)). \quad (22)$$

Общее решение этого уравнения

$$\begin{aligned} \xi = & (C_1 + C_2 e^{2\omega t \sqrt{1+f^2}}) e^{-\omega t(f+\sqrt{1+f^2})} + \\ & + \frac{g}{\omega^2} \frac{f \cos(\omega t + \beta) + \frac{1}{2}(1-f^2) \sin(\omega t + \beta)}{(1+f^2)}. \end{aligned} \quad (23)$$

Взяв производную по времени от последнего выражения, определили скорость движения материала по лопасти

$$\begin{aligned} \xi' = & \omega((C_2 e^{2\omega t \sqrt{1+f^2}} - C_1) \sqrt{1+f^2} - (C_1 + C_2 e^{2\omega t \sqrt{1+f^2}}) f) e^{-\omega t(f+\sqrt{1+f^2})} + \\ & + \frac{g}{\omega} \frac{f \sin(\omega t + \beta) - \frac{1}{2}(1-f^2) \cos(\omega t + \beta)}{(1+f^2)}. \end{aligned} \quad (24)$$

Начальными условиями (при $t = 0$) будут

$$\xi_0 = r; \quad \xi'_0 = 0. \quad (25)$$

Используя начальные условия, определили постоянные интегрирования

$$C_1 = \frac{1}{2\sqrt{1+f^2}} \left[\left(r - \frac{g}{\omega^2} \frac{f \cos \beta + \frac{1}{2}(1-f^2) \sin \beta}{1+f^2} \right) \left(\sqrt{1+f^2} - f \right) - \frac{g}{\omega^2} \frac{f \sin \beta - \frac{1}{2}(1-f^2) \cos \beta}{1+f^2} \right], \quad (26)$$

$$C_2 = \frac{1}{4(1+f^2)} \left[2r \left(f \sqrt{1+f^2} + f^2 + 1 \right) - \frac{g}{\omega^2} \left(\left(\sqrt{1+f^2} + 2f \right) \cos \beta - \left(f \sqrt{1+f^2} + f^2 - 1 \right) \sin \beta \right) \right]. \quad (27)$$

Как видно из рисунка 4

$$\delta = \varphi_p - \psi, \quad (28)$$

где ψ – угол между абсолютной v_n и окружной $v_e = \omega R$ скоростями частицы, рад,

$$\psi = \arctg \frac{v_r}{\omega R}, \quad (29)$$

где v_r – скорость частицы относительно лопасти в момент схода, м/с.

Для исследования влияния параметров на угол разброса материала δ был разработан следующий алгоритм:

1) подставить выражения постоянных интегрирования из (26) и (27) в (23) и (24);

2) приняв $\xi = R$, из (23) определить время разгрузки t_p , а затем угол разгрузки φ_p ;

3) время t_p подставить в (24) и определить скорость v_r ;

4) скорость v_r подставить в (29) и найти угол ψ ,

5) угол ψ подставить в (28) и определить угол δ .

Данный алгоритм был реализован в среде компьютерной математики.

Подставляя численные значения¹, определили влияние угловой скорости ω и внутреннего радиуса барабана аэратора r на угол разброса δ . Результаты оформили в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Углы разброса материала δ при различных угловых скоростях ω и внутренних радиусах барабана аэратора r

r , м	ω , рад/с				
	20	40	60	80	100
0,100	138,15	132,19	131,02	130,61	130,41
0,125	111,74	105,60	104,42	104,00	103,81
0,150	89,76	83,75	82,63	82,24	82,06
0,175	70,77	65,19	64,17	63,82	63,65
0,200	53,97	49,03	48,15	47,84	47,70
0,225	38,86	34,73	34,00	33,74	33,63
0,250	25,13	21,91	21,35	21,15	21,06
0,275	12,51	10,36	9,99	9,86	9,80

Как видно из таблицы 2, в рассматриваемом диапазоне угловая скорость барабана аэратора несущественно влияет на угол разброса и в первом приближении можно не учитывать ее влияние. Для середины выбранного диапазона угловой скорости ($\omega = 60$ рад/с) была получена зависимость $\delta = f(r)$ (рис. 5).

Используя метод наименьших квадратов, получили функциональную зависимость $\delta = f(r)$ вида

$$\delta = 1917,62r^2 - 1397,43r + 250,275. \quad (30)$$

Надежное формирование бурта будет обеспечено при направленном движении частиц материала и минимальном угле разброса материала, что требует увеличения соотношения r/R . С другой стороны увеличение соотношения r/R уменьшает пропускную способность аэратора. Поэтому в этой ситуации должно быть найдено компромиссное решение.

¹ $f = 0,8$; $g = 9,81$ м/с²; $\alpha = 45$ град.; $R = 0,3$ м; $H = 1,5$ м.

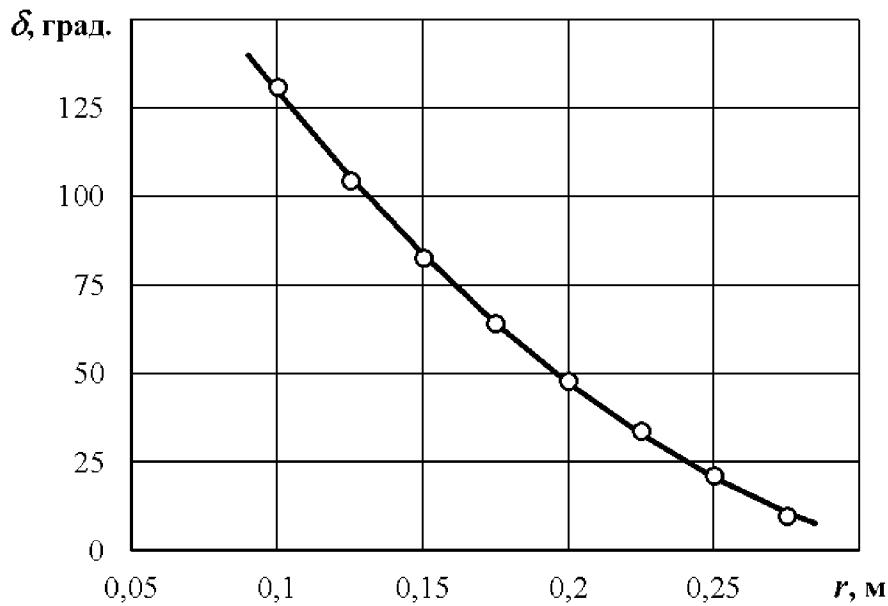


Рисунок 5 – Изменение угла разброса материала δ в зависимости от внутреннего радиуса барабана аэратора r

Согласно [6] угол разброса материала δ не должен превышать 90 град.. Принимая $\delta = 90$ град., из (30) получили $r = 0,143$ м, что является вполне приемлемым в аспекте пропускной способности.

Угловую скорость барабана аэратора определим из условия пропускной способности.

Подача материала на барабан аэратора

$$S_1 = H v_a t, \quad (31)$$

где v_a – скорость движения агрегата, состоящего из энергетического средства и аэратора, м/с;

t – время движения, с.

Пропускная способность аэратора

$$S_2 = \frac{1}{2} \omega t (R^2 - r^2) k_3, \quad (32)$$

где k_3 – коэффициент заполнения межлопастного пространства.

Коэффициент заполнения зависит от механических свойств компоста, кинематических режимов работы аэратора, высоты бурта и других факторов. Увеличение коэффициента заполнения приводит к повышению производительности аэратора и уменьшению энергозатрат, уменьшение – к повышению качества перемешивания компоста. Согласно [6] оптимальным является $k_3 = 0,2\text{--}0,4$.

Приравнивая правые части соотношений (31) и (32), получили выражение угловой скорости барабана аэратора

$$\omega = \frac{2Hv}{k_3(R^2 - r^2)}, \quad (33)$$

откуда для принятых численных значений¹ $\omega = 56,8\text{--}113,7$ рад/с.

Для определения траектории полета частиц первой порции материала составим расчетную схему (рис. 6).

Введем прямоугольную систему координат X_1OY_1 с началом в оси барабана и осью OX_1 параллельной горизонту и направленной противоположно движению агрегата.

Применим естественный способ задания движения. Обозначим через s дугу CM траектории, через θ – угол между скоростью u и осью OX_1 и через ρ – радиус кривизны траектории в точке M [8].

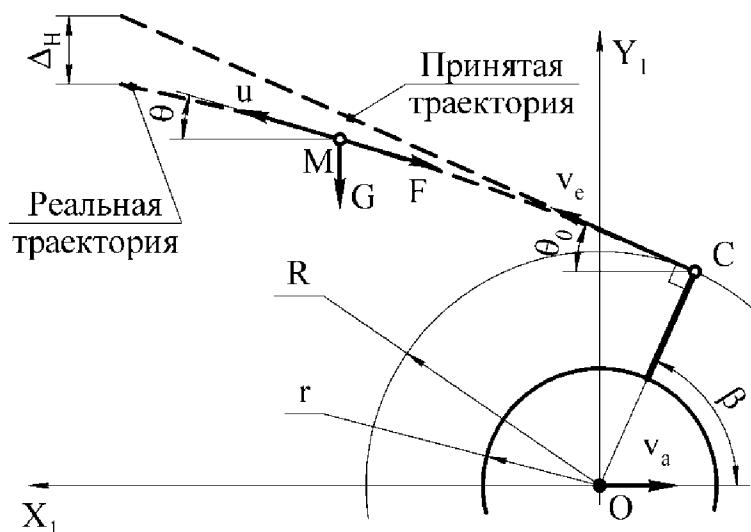


Рисунок 6 – Полет частицы материала

¹ $H = 1,5$ м; $v_a = 0,5$ м/с; $k_3 = 0,2\text{--}0,4$; $R = 0,3$ м; $r = 0,155$ м

Как видно из рисунка 6, начальный угол полета частиц первой порции материала

$$\theta_0 = \frac{\pi}{2} - \beta . \quad (34)$$

На частицу будут действовать следующие силы:

1) Сила тяжести

$$G = mg . \quad (35)$$

2) Сила сопротивления воздуха [9–11]

$$F = c_x \frac{\rho_e}{2} S v_e^2 , \quad (36)$$

где c_x – коэффициент сопротивления;

ρ_e – плотность воздуха, при 20°C $\rho_e = 1,21 \text{ кг}/\text{м}^3$ [12];

S – площадь миделевого сечения частицы,

$$S = \frac{\pi d^2}{4} , \quad (37)$$

где d – диаметр частицы;

v_e – скорость частицы относительно воздуха, $\text{м}/\text{с}$, принимаем

$$v_e = k_e u , \quad (38)$$

где k_e – коэффициент, учитывающий вентиляторный эффект от барабана аэратора и то, что частица движется в потоке материала.

Коэффициент сопротивления c_x является функцией критерия Рейнольдса [12, 13].

$$c_x = \begin{cases} \frac{24}{Re}, & 10^{-4} < Re < 2; \\ \frac{18,5}{Re^{0,6}}, & 2 < Re < 500; \\ 0,44, & 500 < Re < 2 \cdot 10^5, \end{cases} \quad (39)$$

где Re – критерий Рейнольдса,

$$Re = \frac{v_e d}{\nu} = \frac{k_e u d}{\nu}, \quad (40)$$

где ν – кинематическая вязкость воздуха, при 20°C $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ [12].

Скорость u как функция угла θ [14]

$$u = \frac{v_e \cos \theta_0}{\cos \theta + k_u v_e (\cos \theta - \cos \theta_0)}, \quad (41)$$

где θ – текущий угол полета частицы, рад;

k_u – скоростной коэффициент, с/м [14],

$$k_u = \frac{c_x \rho_a S k_a^2 v_e}{2mg \sin \theta_0}; \quad (42)$$

Время t как функция угла θ [14]

$$t = \frac{1}{gk_u} \left[k_{t1} \left(\operatorname{arcth} \left(k_{t2} \operatorname{tg} \frac{\theta_0}{2} \right) - \operatorname{arcth} \left(k_{t2} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \right) \right) + \ln \left(\frac{\cos \frac{\theta_0 + \theta}{2} - \sin \frac{\theta_0 - \theta}{2}}{\cos \frac{\theta_0 + \theta}{2} + \sin \frac{\theta_0 - \theta}{2}} \right) \right], \quad (43)$$

$$\text{где } k_{t1} = \frac{2\sqrt{2}(1+k_u v_e)}{\sqrt{2+k_u v_e(4+k_u v_e)-k_u^2 v_e^2 \cos 2\theta_0}};$$

$$k_{t2} = \frac{\sqrt{2}(1+k_u v_e + k_u v_e \cos \theta_0)}{\sqrt{2+k_u v_e(4+k_u v_e)-k_u^2 v_e^2 \cos 2\theta_0}}.$$

Уравнение траектории в параметрическом виде [7]

$$x = -\frac{1}{g} \int_{\theta_0}^{\theta} u^2 d\theta, \quad y = -\frac{1}{g} \int_{\theta_0}^{\theta} u^2 \operatorname{tg} \theta d\theta. \quad (44)$$

Точка C является началом траектории (то есть при $t = 0$ $x = x_C$, $y = y_C$) и как видно из рисунка 6, её координаты будут

$$x_C = -R \cos \beta, \quad y_C = R \sin \beta. \quad (45)$$

Исследуем характер траектории полета частицы, задавшись численными значениями¹. Результаты оформим в виде таблицы 3 и рисунка 7.

Таблица 3 – Параметры траектории полета частицы

θ , град.	32,88	32,31	31,73	31,16	30,59	30,02	29,44	28,87
u , м/с	17,04	16,83	16,62	16,42	16,24	16,05	15,88	15,71
$t \times 10^{-2}$, с	0,00	2,05	4,06	6,03	7,97	9,88	11,75	13,60
x , м	-0,163	0,129	0,414	0,693	0,965	1,230	1,490	1,744
y , м	0,252	0,439	0,617	0,787	0,950	1,105	1,254	1,395

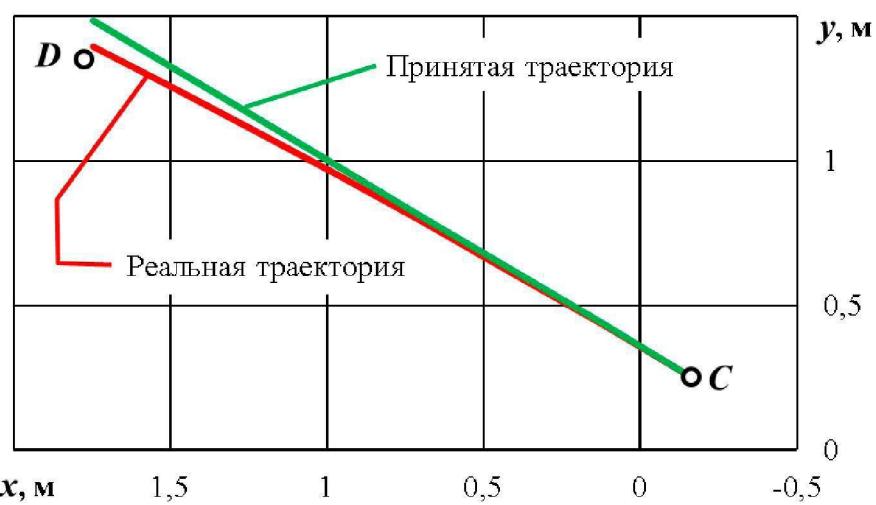


Рисунок 7 – Реальная и принятая траектории полета частицы материала

Как видно из рисунка 7, при заданных численных значениях форма траектории полета частицы мало отличается от прямолинейной, то есть угол θ остается практически постоянным и равным θ_0 . Реальная траектория первой порции материала проходит над точкой D , что создает благоприятные условия для формирования бурта. Следует отметить, что для исследований принималась минимальная угловая скорость барабана и если ее повысить, то реальная траектория будет еще ближе к принятой прямолинейной траектории движения частиц первой порции материала.

Выводы. Установлено влияние параметров компостного бурта на внешний радиус барабана аэратора и получена функциональная зависимость в виде

¹ $\alpha = 45$ град.; $R = 0,3$ м; $H = 1,5$ м; $\omega = 56,8$ рад/с; $g = 9,81$ м/с²; $\rho_e = 1,21$ кг/м³; $v_e = 15,06 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $c_x = 0,44$; $m = 4,2 \cdot 10^{-4}$ кг; $d = 0,01$ м; $k = 1,1$; $k_e = 0,6$.

уравнения (11). При угле естественного откоса материала бурта $\alpha = 45$ град. и высоте бурта $H = 1,0\text{--}1,8$ м барабан аэратора должен иметь внешний радиус $R = 0,3$ м, что обеспечивает надежное формирование бурта.

Разработана математическая модель, алгоритм и компьютерная программа, позволяющая определять угол разброса материала в зависимости от параметров и режимов работы аэратора. Установлено, что угловая скорость барабана аэратора несущественно влияет на угол разброса. Получена функциональная зависимость влияния внутреннего радиуса барабана аэратора на угол разброса материала в виде уравнения (30), с помощью которой определили внутренний радиус барабана $r = 0,155$ м.

Исходя из условия пропускной способности, определен диапазон угловая скорость барабана аэратора. Для скорости движения агрегата $v_a = 0,5$ м/с и коэффициента заполнения межлопастного пространства $k_3 = 0,2\text{--}0,4$ угловая скорость барабана аэратора ω должна находиться в пределах $56,8\text{--}113,7$ рад/с.

Исследован характер траектории полета частиц первой порции материала и показано, что при данных параметрах форма траектории полета частицы мало отличается от прямолинейной. При этом угол полета частиц остается практически постоянным и равным начальному углу полета.

Перечень ссылок

1. Шевченко І. А. Механіко-математична модель процесу розвантаження барабанного робочого органу для змішування компостних матеріалів та механічної аерації / І. А. Шевченко, О. С. Ковязин, В. І. Харитонов // Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві.: зб. наук. праць / Ін-т мех. тваринництва НААН. – Запоріжжя, 2010. – Вип. 1(5, 6).– С. 248–265. – ISSN2075-1591.
2. Голуб Г. А. Обґрунтування основних параметрів радіально скщеного лопатевого ротора розкидача органічних добрив / Г. А. Голуб, В. В. Висовень, М. Є. Шаблій // Міжвідомчий тематичний науковий збірник «Механізація та електрифікація сільського господарства». – Глеваха, 2004. – Вип. 88. – С. 200–207.
3. Вітрух І. П. Обґрунтування технологічного процесу приготування компостів в польових умовах / І. П. Вітрух, В. В. Висовень, Р. К. Олещенко // Удосконалення механізованих процесів в інтенсивному рослинництві західного регіону УРСР: Збірник наукових праць Львівського сільськогосподарського інституту. – Львів, 1990. – С. 24–29.
4. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выгодский. – М. : Астрель, 2006. – 991 с.

5. Половко А.М. Mathematica для студента / А. М. Половко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 368 с.

6. Створити наукові основи та дослідити залежності якісних показників процесу біоконверсного переробляння гною з волого поглиняльними матеріалами від його головних технологічних режимів: звіт про НДР (заключний): № ДР 0107U009308 / кер. О. О. Ляшенко, вик. В. І. Харитонов, О. С. Ковязин, П. О. Ляшенко // Інститут механізації тваринництва НААН. – Запоріжжя, 2010. – 150 с. – Інв. № 0211U000688.

7. Кильчевский Н. А. Курс теоретической механики. – Т. 1 / Н. А. Кильчевский.– М. : Наука, 1977. – 480 с.

8. Аппель П. Теоретическая механика. – Т. 1 / П. Аппель. – М. : Физматлит, 1960. – 516 с.

9. Юрьев Б. Н. Экспериментальная аэродинамика: ч.1 / Б. Н. Юрьев. – М. : Оборонгиз, 1939. – 300 с.

10. Краснов Н. Ф. Аэродинамика. Ч.1 / Н. Ф. Краснов. – 3-е изд. – М. : Высш. школа, 1980. – 495 с.

11. Экспериментальное моделирование в аэродинамике: Лаб. практикум / С. В. Богословский, А. Д. Дорофеев, И. С. Зегжда и др.; СПб. гос. ун-т аэрокосм. приборостроения. – СПб., 2001. – 48 с.

12. Разумов И. М. Пневдоожижение и пневмотранспорт сыпучих материалов / И. М. Разумов. – М. : Химия, 1972. – 240 с.

13. Вараксин А. Ю. Турбулентные течения газа с твердыми частицами / А. Ю. Вараксин. – М. : Физматлит, 2003. – 188 с.

14. Овчаренко Ф. А. Математическая модель процесса взаимодействия очесывающего барабана с ворохом сорго / Ф. А. Овчаренко, А. С. Ковязин // Наукові праці південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України. – Сімферополь, 2011. – Вип. 135. – С. 110–128.

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF AERATOR COMPOST MIXTURES

Summary. Theoretically substantiated parameters of aerator compost mixtures, providing reliable formation of compost pile.