

Экспериментальные исследования аэратора-смесителя компостных буртов

Е.Г. Котов, магистрант, И.В. Кокунова, к.т.н., ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА, В.А. Ружьев, к.т.н., ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский ГАУ

Одним из наиболее эффективных и экономически целесообразных приёмов утилизации отходов современных животноводческих комплексов является приготовление на их основе органических компостов. Компонентами производимых компостов могут служить разные составляющие, в том числе торф, солома, отходы деревообрабатывающей промышленности, органические отходы перерабатывающих производств и др. [1, 2]. Однако чаще всего в сельскохозяйственных предприятиях Северо-Западного региона РФ для производства компостов используется торф, запасы которого на данной территории значительны. Кроме того, торф обладает высокой влагоёмкостью, что даёт возможность утилизировать полужидкую фракцию навоза и применять для внесения получаемых на её основе твёрдых удобрений широкую линейку кузовных разбрасывателей [3, 4].

В результате биотермических процессов, протекающих в компостных буртах, происходит обеззараживание компостируемой массы от патогенной микрофлоры и гельминтов, минерализация и гумификация органических компонентов, что приводит к увеличению количества питательных элементов в доступной для растений форме. Исследованиями ряда ученых [5, 6] установлено, что при повышении температуры до 60–70°C в торфонавозных компостах в 2–5 раз увеличивается количество легкоподвижных форм азота и углерода. При компостировании происходит и изменение физико-механических свойств органической массы. Она становится более сыпучей, что облегчает

распределение удобрений по полю и повышает равномерность их внесения.

Для интенсификации процессов компостирования, сокращения сроков созревания компостов и повышения их качества необходимо насыщение органической смеси кислородом [2, 7]. Современные технологии компостирования предусматривают применение для этих целей специальных технических средств – аэраторов-смесителей компостных буртов. Сегодня производится большое количество разнообразных моделей таких машин, в основном это технические средства зарубежного производства или машины, выпускаемые по лицензии зарубежных компаний [8, 9]. Все они характеризуются высокой ценой, поэтому разработка отечественных аналогов аэраторов-смесителей является в настоящее время актуальной задачей.

Материал и методы исследования. На кафедре «Автомобили, тракторы и сельскохозяйственные машины» Великолукской ГСХА разработана действующая модель аэратора-смесителя компостных буртов, оснащённого ворошителем устройством, состоящим из двух смесительных барабанов со шнековой навивкой. Нижний барабан в центральной части снабжён бросающими лопатками изогнутой формы, позволяющими более эффективно отбрасывать обрабатываемую органическую массу по ходу движения машины и формировать новый рыхлый бурт.

Для обоснования конструктивно-режимных параметров аэратора-смесителя была разработана экспериментальная установка. Исследование проводили в научной лаборатории инженерного факультета Великолукской ГСХА. В качестве исходного материала была использована смесь торфа и навоза в соотношении 1:1 влажностью 50%.

Экспериментальная установка (рис. 1) состоит из рамы 1 арочного типа, верхнего 2 и нижнего 3 ворошительных барабанов, подающего транспортера 4. Транспортер приводится в действие цепной передачей 5 от электродвигателя мощностью 1,5 кВт (на рисунке не показан), а ворошительные барабаны – цепной передачей 6 от электродвигателя 8 мощностью 1 кВт.

На процесс аэрации влияют следующие факторы: конструктивные (зазор между ворошительными барабанами), физико-механические (влажность компостируемой массы), режимные (частота вращения ворошительных барабанов, скорость движения машины, т.е. скорость подачи массы в зону ворошения). В результате обработки априорной информации были выделены факторы, оказывающие наибольшее влияние на качественные и количественные показатели исследуемого процесса. К ним относятся (табл. 1): частота вращения ворошительного барабана ω , мин⁻¹; скорость подачи органической массы к ворошительному устройству V_p , м/мин. Влияние перечисленных факторов на процесс аэрации оценивается плотностью обработанной органической массы ρ , кг/м³.

Частота вращения ворошительных барабанов изменялась в диапазоне от 200 до 300 мин⁻¹, а скорость подачи массы на ворошительные барабаны (скорость движения машины) – от 2,5 до 4,16 м/мин, что соответствует режимам работы наиболее широко применяемых в настоящее время машин.

Данные, полученные в результате эксперимента (табл. 2), были обработаны с использованием пакета программ статистического анализа «STATGRAPHICS CenturionXVI» (рис. 2).

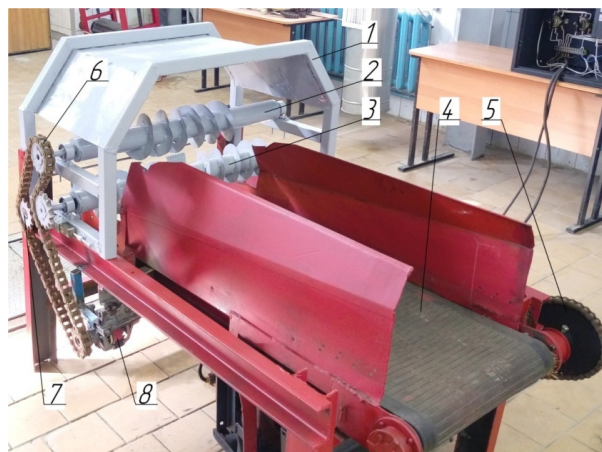


Рис. 1 – Экспериментальная установка для изучения процесса аэрации органической массы:

1 – рама; 2 – верхний ворошительный барабан; 3 – нижний ворошительный барабан; 4 – ленточный транспортер; 5 – привод ленточного транспортера; 6 – цепной привод ворошительных барабанов; 7 – натяжник; 8 – двигатель

Для определения качественных показателей работы аэратора-смесителя компостов было получено следующее уравнение регрессии:

$$\rho = 693,667 - 25,5x_1 + 28,17x_2 - 2,5x_1x_2 - 5,5x_1^2 - 1,5x_2^2, \quad (1)$$

где ρ – плотность компостируемой массы после перемешивания, кг/м³.

Для более детального изучения полученной поверхности отклика используем её двумерное сечение (рис. 3). Для этого проведём каноническое преобразование и получим следующую систему уравнений:

1. Факторы, уровни варьирования и интервалы

Фактор	Условное обозначение	Интервал варьирования	Уровень варьирования		
			– 1	0	+1
Частота вращения ворошительных барабанов, мин ⁻¹	x_1	50	200	250	300
Рабочая скорость движения аэратора-смесителя, м/мин	x_2	0,83	2,50	3,33	4,16

2. Матрица планирования эксперимента

№ опыта	ω	V_p	x_1	x_2	Плотность обработанной органической массы, кг/м ³
1	300	4,16	1	1	690
2	200	4,16	– 1	1	734
3	300	2,50	1	– 1	637
4	200	2,50	– 1	– 1	671
5	300	3,33	1	0	658
6	200	3,33	– 1	0	733
7	250	4,16	0	1	726
8	250	2,50	0	– 1	673
9	250	3,33	0	0	679

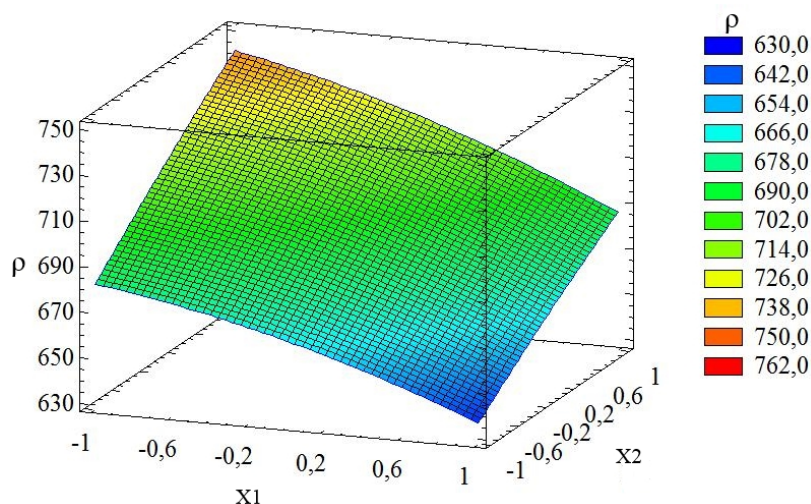


Рис. 2 – Поверхность отклика, показывающая зависимость плотности органической массы от частоты вращения ворошительных барабанов и скорости её подачи в зону ворошения

$$\begin{cases} dy/dx_1 = 0; \\ dy/dx_2 = 0; \\ dy/dx_1 = b_1 + b_{12}x_2 + 2b_{11}x_1; \\ dy/dx_2 = b_2 + b_{12}x_1 + 2b_{22}x_2. \end{cases} \quad (2)$$

Решая данную систему уравнений, находим координаты центра поверхности отклика:

$$x_1 = -5,493; x_2 = 13,967.$$

Подставляя полученные значения в уравнение регрессии, находим значение плотности органической массы в центре поверхности отклика кг/м³. Найдем также значения коэффициентов регрессии в канонической форме:

$$B_{11} = -1,14; B_{22} = -5,86.$$

В канонической форме уравнение регрессии (1) примет вид:

$$Y_s - 960,42 = 1,14X_1^2 + 5,86X_2^2 \quad (3)$$

или

$$\frac{X_1^2}{\frac{Y-960,42}{-1,14}} + \frac{X_2^2}{\frac{Y-960,42}{-5,86}} = 1. \quad (4)$$

3. Характеристика двумерного сечения поверхности отклика плотности исследуемой органической массы

Координаты центра сечения		Отклик в центре сечения по Y_s , кг/м ³	Угол поворота оси координат α , град.
$x_{1,s}$	$x_{2,s}$		
5,493	13,967	960,42	32°

Полученная поверхность отклика представляет собой эллиптический параболоид, в центре которого находится максимум при $B_{ii} < 0$.

Результаты исследования. В результате проведенного анализа современных моделей аэраторов-смесителей компостных буртов отечественных и зарубежных производителей, а также данных

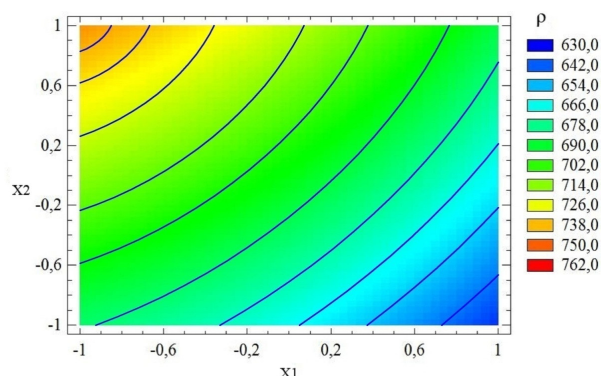


Рис. 3 – Двумерное сечение поверхности отклика плотности органической массы в зависимости от частоты вращения ворошительных барабанов и скорости подачи массы в зону ворошения

патентного поиска нами была разработана конструктивно-технологическая схема усовершенствованного аэратора для малых форм хозяйствования. По результатам лабораторных исследований, проведенных на экспериментальной установке, была выявлена зависимость плотности компостируемой органической массы от частоты вращения ворошительных барабанов x_1 и скорости движения машины (скорости подачи массы в зону ворошения) x_2 . Плотность органической массы изменялась в пределах от 637 до 734 кг/м³. Для определения рациональных параметров работы машины было получено уравнение регрессии. При наименьшей плотности компостируемой массы 637 кг/м³, а следовательно, и наилучшей степени аэрации, частота вращения ворошительного барабана составляла 300 мин⁻¹, скорость подачи массы к ворошительным барабанам – 2,5 м/мин, при этом количество бросающих лопаток на нижнем барабане составило 4 шт.

Вывод. Применение при производстве органических компостов аэраторов-смесителей позволяет сократить время получения готового продукта

и повысить его качество за счёт обогащения компостируемой массы кислородом и увеличения степени минерализации органического субстрата.

Оснащение нижнего ворошительного барабана проектируемого аэратора-смесителя изогнутыми бросающими лопатками способствует снижению плотности аэрируемой массы и ускорению протекания в ней микробиологических процессов.

Полученное уравнение регрессии позволяет определить рациональные параметры аэратора-смесителя компостов. Для лучшей аэрации компостируемой массы частота вращения ворошительных барабанов должна быть наибольшей и соответствовать 300 мин^{-1} при скорости движения машины $2,5 \text{ м/мин}$.

Литература

1. Ковалев Н. Г., Малинин Б. М., Барановский И. Н. Традиционные органические удобрения и КМН на мелиоративных почвах Нечерноземья. Тверь: Чудо, 2003. 160 с.
2. Кокунова И. В., Решетов Д. Н., Немчинова Т. В. Основы производства качественных торфяных компостов и их удобрительная ценность // Инновационные процессы в науке и образовании: сб. стат. междунар. науч.-практич. конф. В 2 ч. Ч. 1. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». 2019. С. 127–129.
3. Котов Е. Г., Коротков С. Ю. Основные направления повышения качества внесения органических удобрений // Динамика взаимоотношений различных областей науки в современных условиях: сб. стат. междунар. науч.-практич. конф. Стерлитамак: АМИ. 2018. С. 168–170.
4. Торф в сельском хозяйстве Нечернозёмной зоны: справочник / В. Н. Ефимов, И. Н. Донских, Л. М. Кузнецова [и др.]; сост. В. Н. Ефимов. Л.: Агропромиздат, 1987. 303 с.
5. Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 288 с.
6. Миронов В. В., Хмыров В. Д. Влияние активной аэрации на интенсивность протекания биотермических процессов в компостируемой смеси // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2002. Т. 8. № 4. С. 668–671.
7. Кокунова И. В., Котов Е. Г. Технология производства органических компостов с применением аэраторов-смесителей // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1. С. 34–37.
8. Кокунова И. В., Котов Е. Г., Решетов Д. Н. Техническое обеспечение инновационных технологий производства органических компостов на основе отходов животноводства // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4. С. 49–54.
9. Котов Е. Г., Кокунова И. В., Ружьев В. А. Разработка классификации технических средств для производства органических компостов // Роль молодых учёных в решении актуальных задач АПК: сб. науч. трудов междунар. науч.-практич. конф. Санкт-Петербург–Пушкин: СПбГАУ. 2018. С. 179–182.