

Н. Ф. Капустин, В. К. Клыбик, Ю. А. Ракевич

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: npcter@yandex.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСХОДА ВОЗДУХА И ВРЕМЕНИ ПРОЦЕССА САМОСОГРЕВАНИЯ ТВЕРДОГО СЕПАРИРОВАННОГО НАВОЗА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА НА ЕГО ТЕМПЕРАТУРУ

Аннотация. В статье рассматриваются результаты исследований температуры самосогревания твердого сепарированного навоза КРС в зависимости от двух факторов: времени протекания процесса самосогревания и удельного расхода воздуха, подаваемого в досушиваемый материал для его окисления в аэробных условиях.

Ключевые слова: твердый сепарированный навоз КРС, температура, удельный расход воздуха, самосогревание, время процесса самосогревания.

N. F. Kapustin, V. K. Klybik, Yu. A. Rakevich

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: npcter@yandex.ru*

STUDY OF THE INFLUENCE OF AIR CONSUMPTION AND TIME OF THE SELF-HEATING PROCESS OF SEPARATED SOLID CATTLE MANURE ON ITS TEMPERATURE

Abstract. The article examines the results of studies of the self-heating temperature of solid separated cattle manure depending on two factors: the time of the self-heating process and the specific air consumption supplied to the drying material for its oxidation under aerobic conditions.

Keywords: solid separated cattle manure, temperature, specific air consumption, self-heating, self-heating process time.

Введение

Одним из направлений получения вторичных продуктов из твердой фракции животноводческих отходов может стать изготовление подстилки для животных с помощью биоферментационных установок. Твердые сепарированные отходы, например, крупного рогатого скота (КРС), содержат большое количество непереваренных растительных волокон, которые после соответствующей обработки могут быть использованы в качестве материала для подстилки [1]. Однако в литературных источниках нет данных по исследованиям влияния удельного расхода воздуха, подаваемого в досушиваемый твердый сепарированный навоз крупного рогатого скота, и времени протекания в аэробных условиях окислительного процесса самосогревания навоза КРС на его температуру. Отсутствие таких исследований не позволяет оптимизировать режимные параметры технологии приготовления подсушенного подстилочного материала на основе твердых сепарированных животноводческих отходов и разработать технические требования к комплекту оборудования для ее осуществления.

Основная часть

Цель экспериментальных исследований, описываемых в данной статье, состояла в получении и проверке адекватности эмпирической зависимости температуры самосогревания твердого сепарированного навоза КРС от удельного расхода воздуха на единицу органического сухого вещества (ОСВ) и времени протекания процесса самосогревания.

Зависимость такого рода, полученная экспериментальным путем, позволяет избегать целого ряда упрощающих допущений, применяемых при выводе ее теоретическим путем. Это повышает точность расчета температуры самосогревания, а значит, и таких технологических параметров, как удельный расход воздуха на единицу массы сухого вещества твердого сепарированного навоза КРС и время протекания процесса самосогревания.

В качестве основных переменных факторов, влияющих на исследуемый процесс, были выбраны удельный расход воздуха на единицу массы органического сухого вещества твердого сепарированного навоза КРС и время протекания процесса самосогревания. Значения таких факторов, как содержание сухого вещества в твердом сепарированном навозе КРС, температура и влажность, подаваемых для досушивания атмосферного воздуха, поддерживались неизменными и составляли соответственно 25 %, 20 °С и 65 %. Параметром функции отклика в настоящем исследовании являлась температура досушиваемого твердого сепарированного навоза КРС.

Вопрос по нахождению эмпирической зависимости в некоторой области факторного пространства сводится к интерполяционной задаче, для решения которой удобно воспользоваться планированием эксперимента.

В таблице 1 представлены выбранные на основании априорной информации экспериментальные области определения основных факторов, их условные обозначения, уровни и интервалы варьирования.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Наименование фактора	Условное обозначение	Уровни			Интервал варьирования
		Нижний (–1)	Основной (0)	Верхний (+1)	
Удельный расход воздуха, подаваемого на единицу массы органического сухого вещества досушиваемого материала W , м ³ /кг ОСВ	X_1	0,6	1,5	2,4	0,9
Время протекания процесса самосогревания t , ч	X_2	12	42	72	30

Для определения функции отклика в виде температуры самосогревания твердого сепарированного навоза КРС и получения соответствующей математической модели, в ходе эксперимента был реализован полный факторный план типа 2^2 с варьированием двух независимых факторов

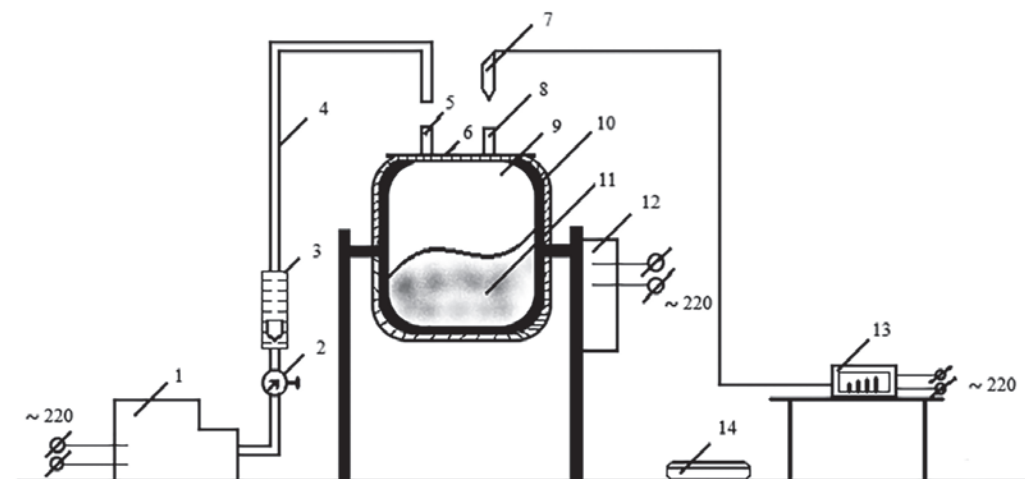


Рисунок 1 – Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования режимов самосогревания в аэробных условиях твердых сепарированных отходов на их тепловлажностные характеристики: 1 – компрессор (воздухонагнетатель); 2 – регулятор расхода воздуха; 3 – ротаметр; 4 – шланг подачи воздуха в ротационную бочку; 5 – патрубок для присоединения шланга подачи воздуха; 6 – крышка ротационной бочки; 7 – хромель-капельная термопара; 8 – патрубок для ввода термопары в исследуемый материал; 9 – ротационная бочка; 10 – теплоизоляция; 11 – исследуемый материал; 12 – электропривод ротационной бочки; 13 – электронный потенциометр для измерения температуры материала с помощью термопары; 14 – весы напольные



Рисунок 2 – Общий вид экспериментальной установки для исследования режимов самосогревания в аэробных условиях твердых сепарированных отходов на их тепловлажностные характеристики

на двух уровнях. В каждой точке спектра плана проводили по два повторных опыта с рандомизацией по времени. Такой план позволил оценить независимо друг от друга линейные эффекты и парные взаимодействия. Опыты проводили по специальной схеме, оформленной в виде матрицы (таблица 2) на созданной экспериментальной установке, принципиальная схема которой представлена на рисунке 1, а общий вид – на рисунке 2.

Таблица 2 – Матрица планирования эксперимента с эффектом взаимодействия

Опыт	X_0	X_1	X_2	$X_1 X_2$	Y_j
№					
1	+	–	–	+	43
2	+	+	–	–	46
3	+	–	+	–	26
4	+	+	+	+	46

В методическом плане эксперимент начинали с установки значений второстепенных факторов. Исходное содержание сухого вещества в твердом сепарированном навозе, подвергающемуся процессу самосогревания, составляло 25 %. Температура и влажность воздуха, подаваемого для осуществления окислительного процесса в аэробных условиях, в результате которого происходит самосогревание твердого сепарированного навоза КРС, составляли соответственно 20 °С и 65 %.

Подача атмосферного воздуха в досушиваемый твердый сепарированный навоз, размещенный в ротационном барабане, осуществляли компрессором. При этом удельная подача воздуха на единицу массы органического сухого вещества исследуемого материала варьировалась в соответствии с планом эксперимента от 0,6 до 2,4 м³/кг ОСВ.

По описанной методике и в соответствии с матрицей планирования была поставлена серия опытов, результаты которых представлены на рисунке 3 и в таблице 2.

Следует отметить, что температура навоза в процессе его самосогревания через какое-то время достигала своего максимума, а затем снижалась. Это свидетельствует о том, что к моменту достижения максимальной температуры процесс окисления органического сухого вещества и, как следствие, его самосогревание завершались. Дальнейшая подача холодного атмосферного

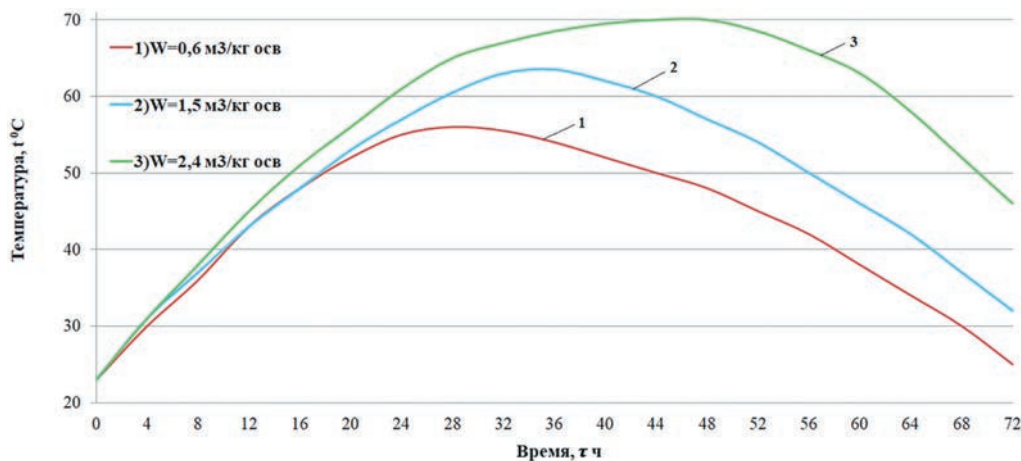


Рисунок 3 – Экспериментальная зависимость температуры досушивания твердых сепарированных отходов КРС от времени их самосогревания в аэробных условиях и удельного расхода воздуха для их обеспечения

воздуха в досушиваемый материал приводило только к снижению его температуры. Таким образом, можно установить предельное время осуществления процесса самосогревания, при котором продолжение подачи воздуха в досушиваемый материал нецелесообразно. Также установлено, что для досушиваемого материала с первоначальной влажностью 75 % время продолжения процесса самосогревания составляло 44 ч при удельной подаче воздуха не менее 2,4 м³/кг ОСВ. Удельная подача воздуха ниже этого значения не обеспечивала достаточной эффективности процесса самосогревания навоза и достижения его температуры порядка 70 °С.

По результатам эксперимента, используя метод наименьших квадратов, вычисляли коэффициенты регрессии принятой полиномиальной модели. Свободный член определяли по следующей формуле:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j, \quad (1)$$

где N – число опытов; j – номер опыта.

Тогда

$$b_0 = \frac{1}{4} \cdot \sum_1^4 (43 + 46 + 26 + 46) = 40,25.$$

Коэффициенты регрессии, характеризующие линейные эффекты, вычисляли по следующему выражению:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_i y_j, \quad (2)$$

Тогда

$$b_1 = \frac{1}{4} \cdot \sum_1^4 [(-1) \cdot 43 + 1 \cdot 46 + (-1) \cdot 26 + 1 \cdot 46] = 5,25;$$

$$b_2 = \frac{1}{4} \cdot \sum_1^4 [(-1) \cdot 43 + (-1) \cdot 46 + 1 \cdot 26 + 1 \cdot 46] = -4,25.$$

Коэффициент регрессии, характеризующий эффект взаимодействия, определяли по формуле

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_i X_l y_j, \quad (3)$$

где i и l – номера факторов

$$b_{12} = \frac{1}{4} \cdot \sum_1^4 [1 \cdot 43 + (-1) \cdot 46 + (-1) \cdot 26 + 1 \cdot 46] = 4,25.$$

Функцию отклика выражали полиномом первой степени в виде следующего уравнения регрессии:

$$y = b_0 + b_1 x_i + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k + b_{12} x_1 x_2 + \dots \quad (4)$$

Таким образом, уравнение регрессии получили в следующем виде:

$$y = 40,25 + 5,25 X_1 - 4,25 X_2 + 4,25 X_1 X_2. \quad (5)$$

Уравнение (5) неудобно для интерпретации полученных результатов и практических расчетов, поэтому его преобразовали по формуле перехода от кодированных значений X_1, X_2 к натуральным значениям факторов W и τ

$$x_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (6)$$

где x_i, x_{i0} и Δx_i – натуральные значения фактора, его основного уровня и интервала варьирования соответственно.

Тогда

$$x_1 = \frac{w - 1,5}{0,9}; \quad x_2 = \frac{\tau - 42}{30}. \quad (7)$$

Таким образом, уравнение (5) с учетом соотношений (7) приняло следующий вид:

$$t = 81,63 - 22,25W - 1,13\tau + 0,66W\tau. \quad (8)$$

Полученная экспериментальным путем зависимость (8) позволяет аналитически рассчитать температуру сепарированных отходов в процессе их досушивания за счет самосогревания в аэробных условиях при различном удельном расходе подаваемого воздуха и времени протекания процесса.

Заключение

Самосогревание массы влажного органического материала является следствием протекания окислительного процесса в аэробных условиях. Достигаемая при этом температура зависит как от времени протекания процесса, так и от удельного расхода воздуха, приходящегося на единицу массы органического вещества.

Так, для твердого сепарированного навоза КРС с первоначальной влажностью 75 % при удельной подаче воздуха в объеме 0,6; 1,5 и 2,4 м³/кг ОСВ максимальные температуры навоза достигали 56, 63 и 68 °С в течение 28, 36 и 44 ч соответственно.

При удельном расходе воздуха до 2,4 м³/кг ОСВ не достигалось полного окисления органического материала, о чем свидетельствует рост его максимальной температуры. Увеличение удельного расхода воздуха выше значения 2,4 м³/кг ОСВ не приводило к дальнейшему росту максимальной температуры органического материала, что свидетельствовало о его полном окислении.

Полученные экспериментальные данные позволяют устанавливать оптимальную воздухопроизводительность, а следовательно, и энергозатраты вентилятора для конкретной массы органического сырья в процессе его самосогревания.

Список использованных источников

1. Menear, J. R. Dairy-cattle manure liquid – solid separation with a screw press / J. R. Menear, L. W. Swith // Journal of animal Science. – 1973. – Vol. 36. – P. 788–791.