

УДК 636.2

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-51-56>Тип статьи: Оригинальное исследование
Type of article: Original research**Шалавина Е.В.,
Брюханов А.Ю.,
Васильев Э.В.,
Уваров Р.А.*,
Валге А.М.***Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) — филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ Санкт-Петербург, Россия
E-mail: shalavinaev@mail.ru, sznii@yandex.ru, sznii6@yandex.ru, puo-24@mail.ru, valgeam@mail.ru***Ключевые слова:** свиной навоз, биоферментация, органические отходы, органическое удобрение, температура смеси.**Для цитирования:** Шалавина Е.В., Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Уваров Р.А., Валге А.М. Биоферментация органических отходов свиноводческого комплекса в установке барабанного типа. *Аграрная наука*. 2020; 339 (6): 51–56.<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-51-56>**Конфликт интересов отсутствует****Ekaterina V. Shalavina,
Aleksandr Yu. Briukhanov,
Eduard V. Vasilev,
Roman A. Uvarov,
Aleksandr M. Valge***Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) — branch of FSAC VIM Saint Petersburg, Russia
E-mail: shalavinaev@mail.ru, sznii@yandex.ru, sznii6@yandex.ru, puo-24@mail.ru, valgeam@mail.ru***Key words:** pig slurry, biofermentation, organic waste, organic fertiliser, mixture, temperature.**For citation:** Shalavina E.V., Briukhanov A.Yu., Vasilev E.V., Uvarov R.A., Valge A.M. Biofermentation of organic waste from a pig-breeding complex in a drum-type installation. *Agrarian Science*. 2020; 339 (6): 51–56. (In Russ.)<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-51-56>**There is no conflict of interests**

Биоферментация органических отходов свиноводческого комплекса в установке барабанного типа

РЕЗЮМЕ

Актуальность. На современных свиноводческих комплексах при переработке навоза используется сепарация, в результате чего образуется жидкая и твердая фракции навоза. Также на комплексах образуются другие виды органических отходов. Цель исследований: апробация процесса получения органического удобрения на основе твердых органических отходов свиноводческого комплекса в биоферментаторе барабанного типа.**Материалы и методы.** Провели апробацию переработки смеси двух видов твердых фракций свиного навоза и отходов от механической чистки зерна, образуемых на свиноводческом комплексе замкнутого производственного цикла Ленинградской области, в органическое удобрение в биоферментационной установке барабанного типа. Критерием оптимизации выступала температура смеси в установке. Управляющими факторами являлись периодичность аэрации, скорость подачи воздуха в биоферментатор, интервал вращения барабана. Допустимые значения проверяемых факторов: влажность смеси 55–65%; плотность смеси — 400–600 кг/м³. Применялись стандартные методы обработки статистических и натурных данных.**Результаты.** Отработали 4 режима установки, из которых только один позволил добиться разогрева смеси выше 55 °С и стабильного протекания процесса биоферментации. При данном режиме периодичность аэрации составляет 5 мин/ч; скорость подачи воздуха в биоферментатор — 10 м/с; интервал вращения барабана — каждые 12 часов. Проанализирована значимость факторов при многофакторном эксперименте и проведен анализ математической модели методом крутого восхождения. С учетом полученного режима работы для переработки твердой фракции навоза от комплекса на 107000 голов (90 тонн твердой фракции навоза в сутки) понадобится 12 биоферментаторов барабанного типа (рабочий объем 1 установки — 31,3 м³). Для размещения биоферментаторов потребуется здание с площадью пола 1000 м², что в 113,4 раза меньше, чем площадь гидроизолированной площадки, необходимой для размещения буртов при технологии пассивного компостирования. Выбросы азота сократятся на 6,3% за счет интенсивной минерализации азота в ферментируемой смеси.

Biofermentation of organic waste from a pig-breeding complex in a drum-type installation

ABSTRACT

Relevance. In modern pig-breeding complexes, manure is processed by separation producing the liquid and solid manure fractions. The complexes also generate other types of organic waste. Testing the process of producing the organic fertilizer based on the solid organic waste of a pig-breeding complex in a drum-type biofermenter.**Material and methods.** The processing of a mixture of two types of solid fractions of pig slurry and the waste from mechanical cleaning of grain into an organic fertilizer in a drum-type biofermentation unit was tested. The tested material was produced on the pig-breeding complex with the closed production cycle located in Leningrad Region. The optimization criterion was the temperature of the mixture in the installation. The controlling factors were the aeration frequency, the air supply rate to the biofermenter, and the rotation interval of the drum. Assumed values of the tested factors were: the moisture content of the mixture of 55–65% and the density of the mixture of 400–600 kg/m³. The standard methods for statistical and experimental data analysis were applied.**Results.** Four operation modes of the biofermenter were tested, of which only one allowed to achieve the heating of the mixture above 55 °C and a stable course of the biofermentation process. Under this mode, the aeration rate was 5 min/h; the air supply rate to the biofermenter was 10 m/s; and the drum rotation interval was every 12 hours. The significance of the factors in a multivariate experiment was considered; the mathematical model was analyzed using the steepest ascent method. Considering the identified operation mode, 12 drum-type biofermenters with the working volume of 31.3 m³ each will be needed to process the solid fraction of manure produced on the pig-breeding complex with the animal stock of 107,000 head and the output of the solid fraction of manure of 90 tons per day. A building with a floor area of 1000 m² will be required to place these biofermenters. This area is 113.4 times smaller than the area of the watertight pad for clamps to process the manure by the passive composting technology. Nitrogen emissions will be reduced by 6.3% owing to the intense mineralization of nitrogen in the fermented mixture.Поступила: 21 мая
После доработки: 25 мая
Принята к публикации: 1 июняReceived: 21 may
Revised: 25 may
Accepted: 1 June

За последние несколько лет проблема необходимости повышения экологической безопасности производства начинает приобретать все большее значение в СЗФО. Основной приоритетной целью долгосрочного развития региона является снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду. Значительную роль в данной нагрузке играют риски, связанные с агропромышленным производством, в частности с крупными свиноводческими комплексами [1–4].

Изменение структуры животноводческой отрасли, внедрение новых способов содержания животных и удаления навоза из животноводческих помещений — все это ставит перед наукой и производством задачу разработки и внедрения новых, адаптированных к отечественным природно-климатическим условиям экологически безопасных и экономически обоснованных технологий утилизации навоза [5–6].

Ввиду намечившегося перехода на НДТ, многим животноводческим комплексам необходимо модернизировать системы утилизации навоза. Мировой опыт показывает, что чем крупнее животноводческий комплекс, тем более сложные технологические решения должны применяться для обеспечения экологической безопасности. С учетом того что на современных свиноводческих комплексах при переработке навоза используется сепарация, в результате чего образуется жидкая и твердая фракции, стоит задача их раздельной последующей переработки и подготовки к использованию. Одним из эффективных способов переработки твердой фракции является технология биоферментации в установке барабанного типа. Данная технология была отработана на птичьем помете и навозе крупного рогатого скота [7]. С учетом того, что на современных свиноводческих комплексах при переработке навоза используется сепарация, в результате чего образуется твердая фракция навоза, технология биоферментации в установке барабанного типа является актуальной для использования.

Цель исследования — апробация процесса получения твердого органического удобрения на основе твердых органических отходов свиноводческого комплекса в биоферментаторе барабанного типа.

Материал и методы

В качестве исследуемого сырья выступает смесь двух видов твердых фракций свиного навоза и отходы от механической чистки зерна [8]. Схема проведения эксперимента представлена на рисунке 1.

Критерием оптимизации является температура ферментации в биоферментационной установке барабанного типа $t_{фер}$, °С. Температура должна варьироваться в диапазоне +54–60 °С. Это позволяет сократить общую продолжительность процесса переработки, объединив процесс биоконверсии и обеззараживания сырья.

В качестве контролируемых факторов выступают характе-

ристики смеси, загружаемой в биоферментационную установку барабанного типа. Допустимые значения проверяемых факторов:

- влажность смеси W — 55–65%;
- плотность смеси ρ — 400–600 кг/м³.

Регулирование температуры ферментации достигается за счет управления следующими факторами:

- периодичностью аэрации $T_{аэр}$, мин/ч;
- скоростью подачи воздуха в биоферментатор $V_{аэр}$, м/ч;
- интервалом вращения барабана биоферментационной установки T , ч.

Эксперимент предполагается реализовать по матрице 23. При каждой комбинации факторов планируется трехкратная повторность опыта. Уровни и интервалы варьирования факторов устанавливаются с учетом ранее обоснованных значений [9]. Кодировка управляемых факторов и интервалы варьирования представлены в таблице 1. Рандомизированная матрица планирования эксперимента представлена в таблице 2.

Результаты и обсуждение

Периодичность аэрации определяется при помощи часов на программируемом реле времени ТПУ-2К. После включения щита управления и подачи сигнала на первый канал реле включается программа управления напорным вентилятором. С момента запуска реле включается таймер отсчета. По истечении заданного промежутка времени реле прекращает передачу сигнала и производится отключение вентилятора, тем самым прекращая процесс аэрации. Фрагмент проведения экспериментальных исследований — установка параметров функционирования лабораторной биоферментационной установкой на щите управления — представлен на рисунке 2.

Определение скорости подачи воздуха в биоферментатор проводится в точке соединения воздуховода

Рис. 1. Схема получения органического удобрения на основе органических отходов свиноводческого комплекса

Fig. 1. Scheme for producing an organic fertiliser based on the organic waste from the pig-breeding complex

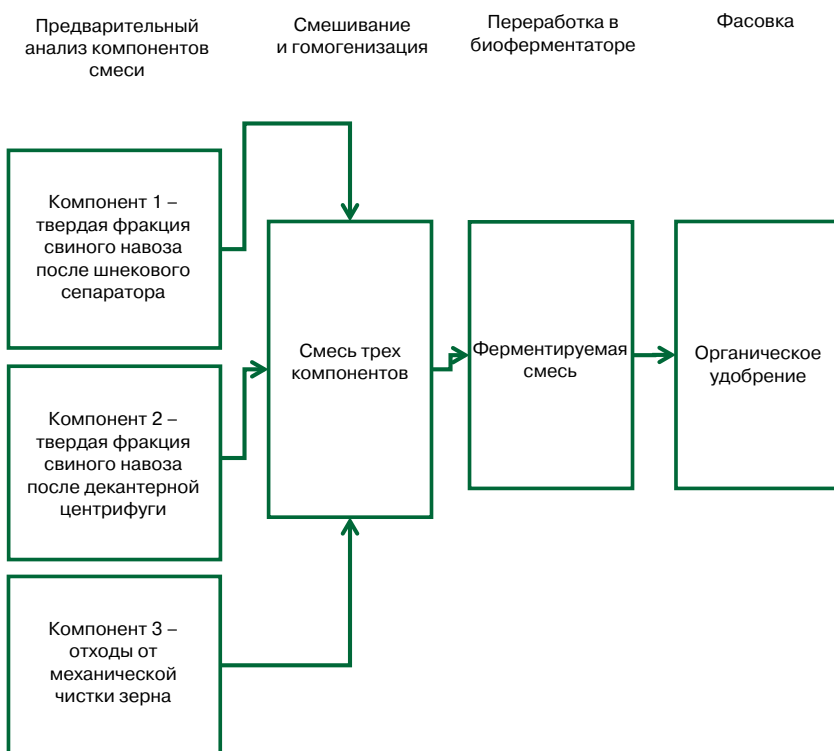


Таблица 1. Кодировка управляемых факторов и интервалы варьирования

Table 1. Codes of controllable factors and variation ranges

Код фактора	Наименование фактора	Единицы измерения	Варьирование		
			Min (-1)	Max (+1)	Интервал
X1	Периодичность аэрации	мин/ч	5	15	10
X2	Скорость подачи воздуха в биоферментатор	м/с	3	10	7
X3	Интервал вращения барабана	ч	6	12	6

Таблица 2. Рандомизированная матрица планирования эксперимента

Table 2. Randomized matrix of experiment planning

Номер опыта	Факторы и их взаимодействие			Критерий оптимизации
	X1	X2	X3	
1	-1	-1	-1	Y1
2	+1	-1	-1	Y2
3	-1	+1	-1	Y3
4	-1	-1	+1	Y4
5	+1	+1	-1	Y5
6	+1	-1	+1	Y6
7	-1	+1	+1	Y7
8	+1	+1	+1	Y8

подачи наружного воздуха и перфорированного трубопровода при помощи термоанемометра-гигрометра ТКА-ПКМ/60. После начала подачи воздуха измерительная головка прибора с предварительно снятым защитным колпачком помещается в отверстие для замера, выполненное в воздуховоде. Цветной знак на головке зонда должен быть направлен к измеряемому потоку. После того как зонд помещен в зону измерений, производится включение прибора и фиксация скорости воздушного потока (рис. 3).

Для определения интервала вращения также используется программируемое реле времени ТПУ-2К (рис. 2). После включения щита управления происходит подача

сигнала на 2-ой канал с последующим включением привода биоферментатора, осуществляющего вращение барабана. Интервал вращения барабана определяется путем фиксирования времени начала первого оборота барабана и окончания последнего оборота согласно точному московскому времени.

Определение температуры перерабатываемого материала производится при помощи термометра ТЦМ 9410/M2. Замер температуры проводится в шести точках дважды в сутки каждые 12 часов с момента загрузки смеси в биоферментатор (погружной датчик температуры замеряет температуру смеси внутри биоферментатора через специальные отверстия). Схема расположения точек замера представлена на рисунке 4.

Для каждой совокупности результатов измерений случайной величины определяли следующие показатели: математическое ожидание, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации. Для оценки качества аппроксимации экспериментальных данных теоретическим предположкам производилась проверка адекватности с помощью критерия Фишера.

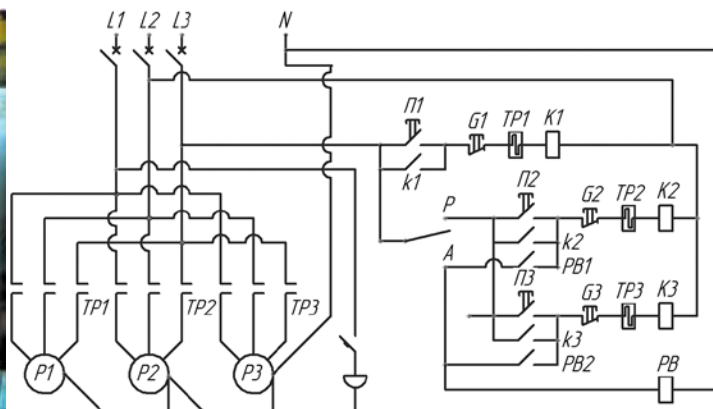
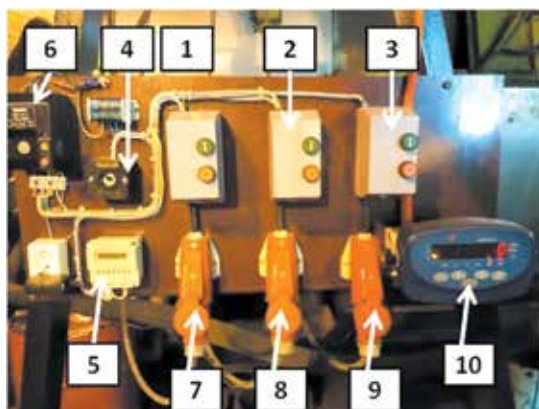
Органические отходы для экспериментальных исследований взяты со свиноводческого комплекса замкнутого производственного цикла, расположенного в Ленинградской области.

В результате проведения экспериментальных исследований были апробированы опыты № 4, № 5, № 7 и № 8.

По результатам эксперимента установлено, что в среднем два дня требовалось для разогрева смеси (день загрузки и день ферментации), после чего установка выходила на рабочий режим поддержания установленной температуры. В таблице 3 приведены температуры смеси в биоферментаторе барабанного типа на 5 день процесса биоферментации.

Рис. 2. Щит управления лабораторной биоферментационной установкой: а — фото щита управления; б — принципиальная схема щита управления

Fig. 2. Control panel of a laboratory biofermentation unit: а — photo; б — schematic diagram



1 — пускатель системы регулируемой аэрации; 2 — пускатель привода вращения барабана биоферментатора; 3 — пускатель привода выгрузного устройства; 4 — переключатель режимов работы биоферментатора (автоматический/ручной); 5 — программируемое реле времени ТПУ-2К; 6 — тепловое защитное реле щита управления; 7–9 — розетки; 10 — весовой терминал

На основании обработки экспериментальных данных получено значимое уравнение математической модели влияния факторов на зависимую переменную, представленное выражением 1

$$Y = -5,055 - 1,28 \cdot X_1 + 2,29 \cdot X_2 + 4,28 \cdot X_3. (1)$$

Коэффициенты уравнения значимы по t -критерию Стьюдента на уровне вероятности 0,99, коэффициент детерминации равен 99,0%. Наибольшее влияние на зависимую переменную оказывают первый и третий факторы, причём первый фактор влияет со знаком минус. Второй фактор имеет положительное влияние на зависимую переменную, но степень его влияния в два раза ниже влияния первого и третьего факторов.

Влияние факторов на зависимую переменную представлено на сечениях поверхности отклика (рис. 5, 6, 7).

В результате установлено, что наиболее значимыми факторами, влияющими на скорость и величину разогрева фермента в биоферментаторе, являются фактор №1 — периодичность аэрации и №3 — интервал вращения барабана.

При режиме 4 динамика изменения температуры в биоферментаторе была незначительна: с 12,0 °C до 18,0 °C за первые сутки и 22,8 °C за вторые сутки (рис. 8). Максимальная температура была достигнута на 5 сутки — 46,8 °C, но при этом не был достигнут порог в 55 °C (температура, гарантирующая обеззараживание перерабатываемого материала за регламентированный период). Потери массы смеси за период биоферментации составили 2,3% (рис. 9).

Рис. 3. Расположение оборудования, необходимого для замера массы смеси и скорости подачи воздуха

Fig. 3. Arrangement of equipment for measuring the mass of the mixture and the air supply rate

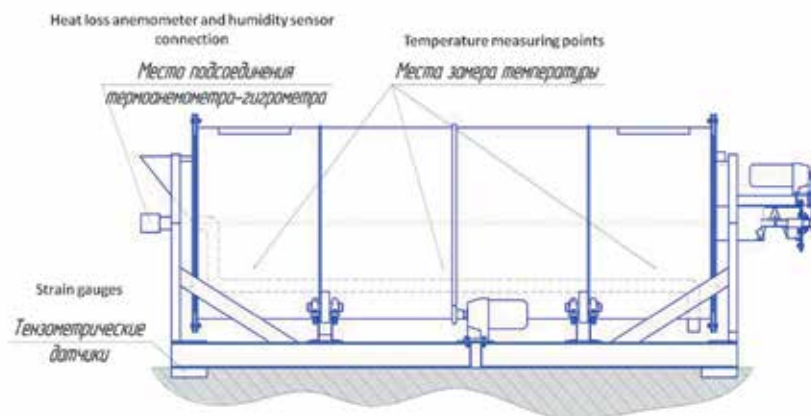


Рис. 4. Схема расположения точек замера температуры в биоферментаторе

Fig. 4. Layout of temperature measuring points in the biofermenter

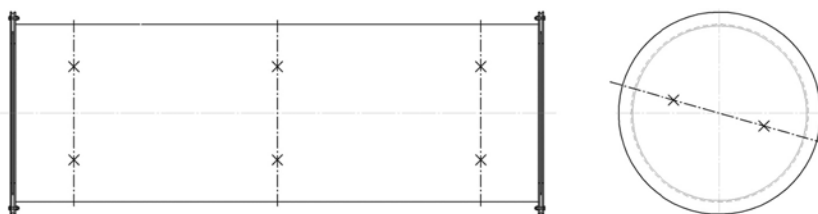


Таблица 3. Температура в биоферментационной установке при проведении экспериментальных исследований

Table 3. The temperature in the biofermentation unit during the experiments

Режим работы	Периодичность аэрации, мин/ч	Скорость подачи воздуха в биоферментатор, м/с	Интервал вращения барабана, ч	Температура в биоферментаторе			
				$Y_{факт}$			$Y_{ср}$
	X1	X2	X3	1-й повтор	2-й повтор	3-й повтор	
4	5	3	12	46,0	47,5	46,8	46,8
5	15	10	6	24,5	24,2	24,4	24,4
7	5	10	12	62,8	62,3	63,3	62,8
8	15	10	12	49,8	49,9	50,5	50,0

Рис. 5. Зависимости температуры в биоферментаторе от факторов X1 (по оси абсцисс) и X2 (по оси ординат) при фиксированном значении фактора X3 = 12

Fig. 5. Dependences of temperature in the biofermenter on factors X1 (at the x-axis) and X2 (at the y-axis) for a fixed value of factor X3 = 12

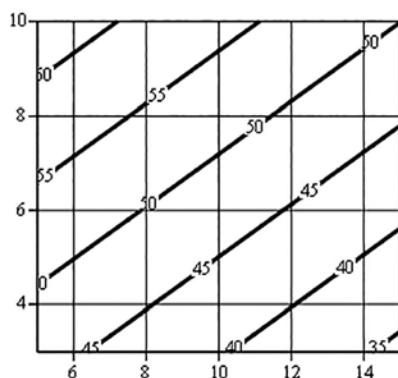


Рис. 6. Зависимости температуры в биоферментаторе от факторов X1 (по оси абсцисс) и X3 (по оси ординат) при фиксированном значении фактора X2 = 10

Fig. 6. Dependences of temperature in the biofermenter on factors X1 (at the x-axis) and X3 (at the y-axis) for a fixed value of factor X2 = 10

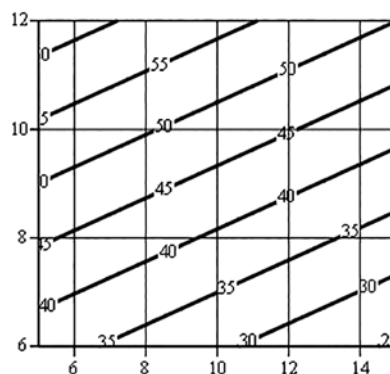


Рис. 7. Зависимости температуры в биоферментаторе от факторов X2 (по оси абсцисс) и X3 (по оси ординат) при фиксированном значении фактора X1 = 5

Fig. 7. Dependences of temperature in the biofermenter on factors X2 (at the x-axis) and X3 (at the y-axis) with a fixed value of factor X1 = 5

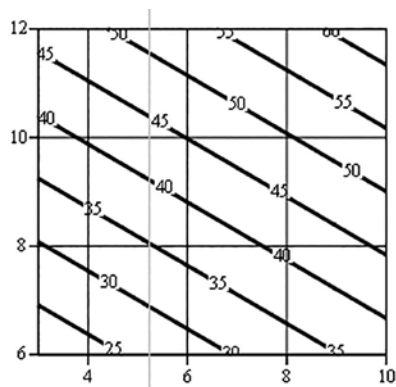
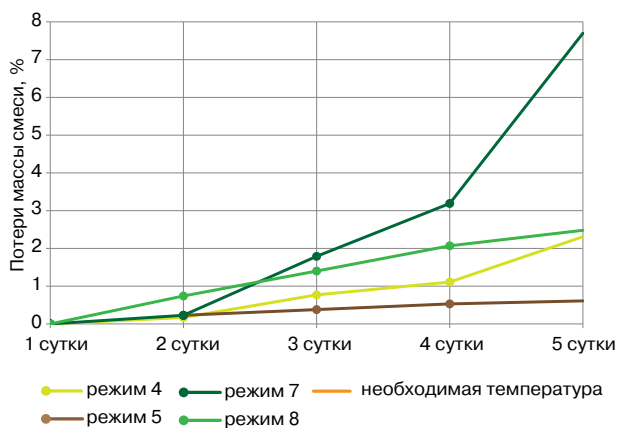


Рис. 9. Потери массы смеси при различных режимах работы биоферментационной установки

Fig. 9. Loss of the mixture mass under different operation modes of the biofermenter



При режиме 5 наблюдалась аналогичная, по сравнению с режимом 4, динамика набора температуры: с 7,0 °C до 16,3 °C за первые сутки и до 22,1 °C за вторые сутки (рис. 9). Максимальная температура смеси составила 24,9 °C на 3 сутки биоферментации. Порог 55 °C при режиме 5 также не был достигнут. Потери массы смеси за период биоферментации составили 0,61% (рис. 9).

При режиме 7 наблюдалась высокая динамика набора температуры: к вечеру первых суток температура смеси разогрелась с 5,0 °C до 22,8 °C. За вторые сутки температура смеси повысилась до 48,5 °C, а на 3 сутки был достигнут порог в 55 °C — температура смеси поднялась до 58,2 °C (рис. 8). Потери массы смеси за период биоферментации составили 7,7% (рис. 9).

При режиме 8 наблюдалась менее выраженная, по сравнению с режимом 7, динамика набора температуры: за первые сутки смесь разогрелась с 15 °C до 21,3 °C. На 4 сутки была достигнута максимальная температура в 51,4 °C, но при этом не был достигнут порог в 55 °C. На 5 сутки температура смеси понизилась на 1,4 °C (рис. 9). Потери массы смеси за период биоферментации составили 2,5% (рис. 9).

Из всех 4 режимов работы только режим 7 позволил добиться разогрева смеси выше 55 °C и добиться стабильного протекания процесса биоферментации.

Рис. 8. Динамика температуры смеси при различных режимах работы биоферментационной установки

Fig. 8. The dynamic pattern of the mixture temperature under different operation modes of the biofermenter

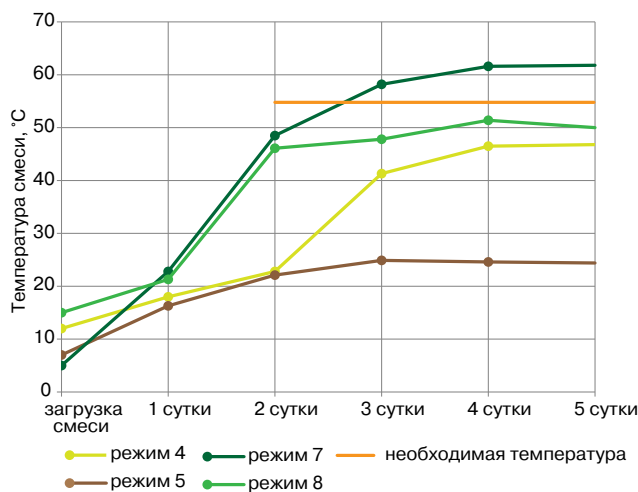


Таблица 4. Расчётные значения температуры при реализации крутого восхождения

Table 4. Estimated temperature values using the method of steepest ascent

Показатель	Метод крутого восхождения				
	B0	X1	X2	X3	Y _{расч}
Максимум	1	5	10	12	
Реальное уравнение	-5,055	-1,28	2,29	4,28	62,805
Шаг движения	0	-0,5	0,5	0,5	
Шаг 1	1	4,5	10,5	12,5	66,73
Шаг 2	1	4	11	13	70,655

Для проверки возможности повышения температуры за счёт изменения параметров факторов при проведении дальнейших исследований биоферментатора выполнен анализ математической модели методом крутого восхождения [10]. Для этого выполнено движение по поверхности отклика по градиентам составляющих уравнения. Расчётный шаг движения по факторам принят: $\Delta X1 = -0,5$, $\Delta X2 = 0,5$, $\Delta X3 = 0,5$. Результаты двух шагов расчётов приведены в таблице 4.

При значениях факторов: X1 = 4,5; X2 = 10,5; X3 = 12,5 расчётный уровень температуры достигнет 66,7 °C. Соответственно, при X1 = 4,0; X2 = 11,0; X3 = 13,05 уровень температуры достигнет 70,7 °C. Эти режимы необходимо проверить при следующих экспериментальных исследованиях.

Выводы

Проведены экспериментальные исследования по переработке органических отходов свиноводческого комплекса (смесь двух видов твердых фракций свиного навоза и отходов от механической чистки зерна) в органическое удобрение в биоферментационной установке барабанного типа.

Во время эксперимента были отработаны 4 режима работы биоферментационной установки. Критерием

оптимизации выступала температура смеси в биоферментационной установке; управляемыми факторами являлись периодичность аэрации, скоростью подачи воздуха в биоферментатор, интервал вращения барабана.

В качестве оптимального режима работы биоферментационной установки обоснован режим 7, при котором периодичность аэрации составляет 5 мин/ч; скорость подачи воздуха в биоферментатор — 10 м/с; интервал вращения барабана — каждые 12 часов. При данном режиме работы потери по массе сырья составляют 7,7%. Биоферментационная установка выходит на рабочий режим на 3 сутки, когда достигается порог в 55 °С (температура, гарантирующая обеззараживание

перерабатываемого материала за регламентированный период).

С учетом полученного режима работы для переработки твердой фракции навоза от комплекса на 107000 голов (90 тонн твердой фракции навоза в сутки) понадобится 12 биоферментаторов барабанного типа (рабочий объем 1 установки — 31,3 м³). Для размещения биоферментаторов потребуется здание с площадью пола 1000 м², что в 113,4 раза меньше, чем площадь гидроизолированной площадки, необходимой для размещения буртов при технологии пассивного компостирования. При этом выбросы азота сократятся на 6,3% за счет интенсивной минерализации азота в ферментируемой смеси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирюков В.В. Структурированная модель процесса ферментации, лимитированного массопередачей кислорода. *Вестник РГУ им. И. Канта. Естественные науки*. 2008;(7):75–78.
2. Бондаренко А.М., Мирошникова В.В. Технологические аспекты переработки навоза в высококачественные органические удобрения для растениеводства. *Научный журнал Российской академии наук проблем мелиорации*. 2012;(4):172–182.
3. Долинский А.А., Авраменко А.А., Басок Б.И. Биоконвективные эффекты в процессах ферментации. *Промышленная теплотехника*. 2005;(5):5–10.
4. Есков А.И., Лукин С.М., Анисимова Т.Ю. Ресурсы органических удобрений в сельском хозяйстве России: информационно-аналитический справочник. Владимир: ВНИИОУ. 2006. 200 с.
5. Дорохов А.С. Качество машиностроительной продукции: реальность и перспективы. *Ремонт. Восстановление. Модернизация*. 2005;(8):2–4.
6. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергообеспечения и цифровых систем в агропромышленном комплексе. *Техника и оборудование для села*. 2019;(6):2–9.
7. Брюханов А.Ю., Уваров Р.А. Математическая модель технологии ускоренного компостирования отходов животноводства в биоферментационных установках закрытого типа. *Известия КГТУ*. 2016;(41):137–147.
8. Шалавина Е.В., Уваров Р.А., Васильев Э.В., Фрейдкин И.А. Результаты поисковых экспериментов биоферментации твердой фракции свиного навоза. *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019;(99):326–334.
9. Uvarov R., Briukhanov A., Spesivtsev A., Spesivtsev V. Mathematical model and operation modes of drum-type biofermenter. *Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development"*, May 24–26, 2017, Jelgava, Latvia. pp. 1006–1011.
10. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука. 1965. 340 с.

ОБ АВТОРАХ:

Шалавина Екатерина Викторовна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Брюханов Александр Юрьевич, доктор технических наук, член-корр РАН, заведующий отделом
Эдуард Вадимович Васильев, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Уваров Роман Алексеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Валге Александр Мартынович, доктор технических наук, главный специалист

REFERENCES

1. Biryukov V.V. A structured model of the process of fermentation limited by the mass transfer of oxygen. *Vestnik RGU im. I. Kanta. Estestvennye nauki*. 2008;(7):75–78. (In Russian)
2. Bondarenko A.M., Miroshnikova V.V. Technological aspects of manure recycling in a high-quality organic fertilizer for crop production. *Nauchnyi zhurnal Rossiiskogo NII problem melioratsii*. 2012;(4):72–182. (In Russian)
3. Dolinskii A.A., Avramenko A.A., Basok B.I. Bioconvective effects in fermentation processes. *Promyshlennaya teplotekhnika*. 2005;(5):5–10. (In Russian)
4. Eskov A.I., Lukin S.M., Anisimova T.Yu. Resources of organic fertilizers in Russian agriculture: An Information and Analytical Guide. Vladimir: VNIIOU. 2006: 200. (In Russian)
5. Dorokhov A.S. Quality of engineering products: reality and prospects. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. 2005;(8):2–4. (In Russian)
6. Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Lobachevskii Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Development of intensive machine technologies, robotic technology, efficient energy supply and digital systems in the agribusiness. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019;(6):2–9. (In Russian)
7. Briukhanov A.Yu., Uvarov R.A. Mathematical model of the technology for accelerated composting of animal waste in closed biofermentation installations. *Izvestiya KGTU*. 2016;(41):137–147. (In Russian)
8. Shalavina E.V., Uvarov R.A., Vasil'ev E.V., Freidkin I.A. Pilot study findings of bio-fermentation of the solid fraction of pig manure. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019;(99):326–334. (In Russian)
9. Uvarov R., Briukhanov A., Spesivtsev A., Spesivtsev V. Mathematical model and operation modes of drum-type biofermenter. *Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development"*. Jelgava, Latvia. 2017: 1006–1011. (In English)
10. Nalimov V.V., Chernova N.A. Statistical methods for planning extreme experiments. М.: Nauka. 1965. 340. (In Russian)

ABOUT THE AUTHORS:

Ekaterina V. Shalavina, Ph.D. (Eng), senior researcher
Aleksandr Yu. Briukhanov, Dr.Sc.(Eng), Corresponding Member of RAS, Head of Division
Eduard V. Vasilev, Ph.D. (Eng), senior researcher
Roman A. Uvarov, Ph.D. (Eng), senior researcher
Aleksandr M. Valge, Dr.Sc.(Eng), chief specialist

СИЛА КОРНЕЙ НА СТРАЖЕ УРОЖАЯ

ВАЙБРАНС® ИНТЕГРАЛ — готовый
SDHI-инсектофунгицид для защиты
семян зерновых от максимального
спектра болезней и вредителей

 **Вайбранс® Интеграл**

syngenta.

Агрономическая поддержка компании «Сингента» 8 800 200-82-82
www.syngenta.ru



Мобильное приложение
«Сингента Россия»