

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

Д-р техн. наук В.И. Барков.

ТОО «Казахский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства»,
Республика Казахстан

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY BIOLOGICAL TREATMENT OF AGRICULTURAL WASTE

V.I. Barkov Doctor of Technical sciences.

LLP «Kazakh scientific research institute mechanization and electrification of agriculture», Republic of Kazakhstan

E-mail: kazniimesh@yandex.kz

Резюме: Разработана рациональная технология биообработки сельскохозяйственных отходов, включающая следующие операции: предварительную подготовку сырья, кислотную стадию сбраживания субстрата и щелочную стадию. Преимущество проявляется в том, что в каждой фазе создаются оптимальные условия для развития и жизнедеятельности той популяции микроорганизмов, которая необходима для повышения эффективности брожения биомассы. Разработана биогазовая установка с двухкамерным биореактором, проведены натурные испытания и приведены их результаты. Разработана методика расчета основных параметров технологического оборудования для переработки отходов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТЕХНОЛОГИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОТХОДОВ, БИОГАЗОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, БИОРЕАКТОР, МИКРОФЛОРА, БИОГАЗ, ОРГАНИЧЕСКИЕ УДОБРЕНИЯ.

Abstract: The rational technology biotreatment of agricultural waste, including next operations: pre-preparation of raw materials, acid stage fermentation of the substrate and alkaline stage was developed. Advantage is manifested in the fact that in each phase are optimal conditions for the development and life activity of the microbial population, which is necessary to improve the efficiency of fermentation of biomass. The biogas plant with a double - chamber bioreactor was developed, scale tests conducted and their results were shown. A method of calculating the basic parameters of the technological equipment for processing waste were developed.

KEYWORDS: TECHNOLOGY BIOLOGICAL TREATMENT, BIOGAS TECHNOLOGY, BIOREACTOR, BIOGAS, MICROFLORA ORGANIC FERTILIZERS.

1. Введение

Интенсивное внедрение биогазовых технологий в развитых странах, повышение их эффективности и рентабельности внесли значительные изменения в стратегию развития этих технологий, что обуславливает необходимость поиска способов переработки, которые обеспечили бы комплексную утилизацию агротехнических, энергетических и других свойств отходов.

Такой подход тем более актуален, что основными путями развития биоэнергетики являются необходимость создания материально-технической базы для широкого использования энергии органической биомассы (навоз, отходы полеводства и др.). Кроме того, с проблемой утилизации отходов тесно смыкается другая, все более обостряющаяся, охрана окружающей среды, которая также требует интенсивной и рациональной переработки отходов сельского хозяйства.

Исследования и разработки в области утилизации навоза и других отходов привели к созданию комплексной технологии биоконверсии отходов животноводства. Накопленные в нашем институте экспериментальный материал и практический опыт позволили создать образцы оборудования для такой переработки отходов.

2. Предпосылки и средства для решения проблемы

2.1. Теоретическая модель

Для выбора оптимального числа вариантов комплектации оборудования нами разработана оптимизационная модель анаэробной технологии и метанового сбраживания навоза, отработан технологический регламент и выявлен необходимый комплект оборудования для реализации данной технологии. Создана также конструкция микробиологического двухкамерного биореактора [1], позволяющая обеспечить оптимальные условия для активного развития метанообразующих микроорганизмов.

В таблице 1 приведена оптимизационная модель анаэробной технологии переработки отходов.

Таблица 1 - Оптимизационная модель анаэробной технологии обработки отходов

Стадия переработки, технологическая операция и показатели процесса
<p>1. <i>Предварительная подготовка сырья:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - гомогенизация; - химическая обработка; - обработка гидролитическими микроорганизмами; - выдерживание.
<p>2. <i>Кислотная стадия сбраживания субстрата:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - доза загрузки субстрата $D_1=15...20\%$; - кислотность $pH=4,8...7,2$; - температура $t=32...40^{\circ}C$; - экспозиция $T=3...5$ сут.
<p>3. <i>Щелочная стадия сбраживания субстрата:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - доза загрузки субстрата $D_2=10...12\%$; - кислотность $pH=6,7...7,7$; - температура $t=50...55^{\circ}C$; - экспозиция $T=7...15$ сут.
<p>4. <i>Пастеризация готового удобрения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - температура $t=65...70^{\circ}C$; - экспозиция $T=2$ч; - степень обеззараживания 95%.
<p>5. <i>Отвод газообразных продуктов (биогаза и др.):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - реверсивное перемешивание; - откачивание биогаза компрессором.

Предложенная технология включает в себя следующие операции:

1. Предварительная подготовка сырья:

- гомогенизация субстрата для получения однородной смеси в системе «навоз-жидкость»;
- химическая обработка слабой кислотой или щелочью;
- обработка комплексом гидролитических групп микроорганизмов;
- выдерживание при температуре процесса в термофильных и мезофильных условиях для увеличения содержания летучих кислот.

2. Кислотная стадия сбраживания субстрата:

В этой стадии создается мезофильный режим брожения,

который обеспечивает оптимальные условия для развития популяции микроорганизмов, обеспечивающих кислотную фазу процесса первичного разложения биомассы: доза загрузки $D_1=15\dots 20\%$; кислотность $pH=4,8\dots 7,2$; температура в камере кислотного сбраживания $t=32\dots 40^\circ C$; продолжительность экспозиции $T=3\dots 5$ сут.

Регулирование процесса сбраживания производится применением стимулирующих добавок метанола, ацетата или целлюлозы. Например, добавление в субстрат аскорбиновой кислоты в комбинации с Са-L- аскорбатом, по технологии разработанной фирмой Schmack Biogas GmbH (Германия). В качестве индикатора эффективности анаэробного брожения определяется Redox-потенциал, который является электрохимическим критерием [2]. Внесение экзогенных добавок уменьшает время вывода метантенка на рабочий режим до 3...5 сут.

Закономерности развития микробных популяций в зависимости от вида экзогенных добавок приведены на рисунке 1. Обращает на себя внимание резкое увеличение скорости образования метана в присутствии ацетата. Довольно высока эта скорость уже в первые сутки культивирования и при внесении целлюлозы, что указывает на участие в процессе целлюлозоразрушающих бактерий.

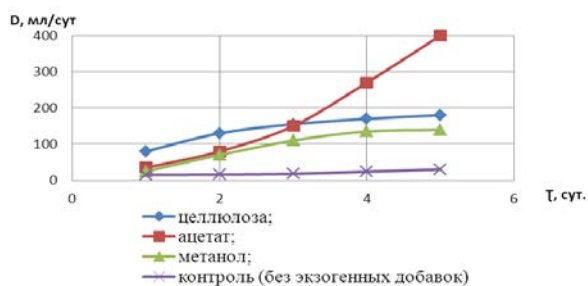


Рисунок 1 – Влияние вида экзогенных добавок на скорость образования метана D (мл/сут) микрофлорой навоза

В субстрат целесообразно вводить штаммы эффективных микроорганизмов, содержащих, например, культуры *Corynebacterium species*, *Pseudomonas species*, *Arthroclacter simplex*, перерабатывающих навоз в органические кислоты.

Субстрат периодически перемешивается, интенсивность перемешивания зависит от гидродинамических условий в реакторе и физических свойств субстрата.

3. Щелочная стадия сбраживания субстрата

В этой стадии создается термофильный режим брожения, который обеспечивает оптимальные условия для щелочной фазы процесса – метаногенеза: доза загрузки $D_2=10\dots 12\%$; кислотность $pH=6,7\dots 7,7$; температура в камере щелочного сбраживания $t=50\dots 55^\circ C$; продолжительность экспозиции $T=7\dots 15$ сут.

Регулирование процесса сбраживания производится применением стимулирующих добавок и введением штаммов эффективных микроорганизмов, содержащих, например, метаногенерирующие культуры *Methanobacterium omelianskii* и *Methanococcus mazei*. Субстрат периодически перемешивается мешалкой.

Преимущество деления процесса анаэробной переработки на отдельные фазы, проявляется в том, что в каждой фазе создаются оптимальные условия для развития и жизнедеятельности той популяции микроорганизмов, которая необходима для повышения эффективности брожения биомассы.

4. Стадия пастеризации готового удобрения

Пастеризация готового удобрения производится в пастеризаторе при температуре $65\dots 70^\circ C$, время экспозиции – 2 часа.

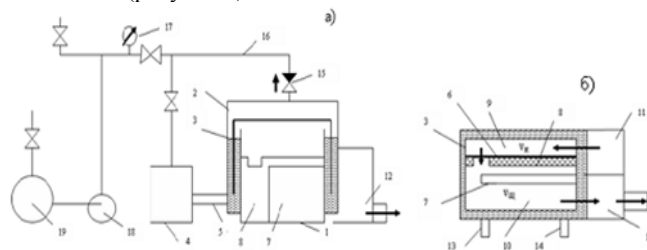
5. Стадия интенсивного отвода газообразных продуктов

В этой стадии обеспечивается реверсивное перемешивание с помощью мешалок, а затем образующиеся газообразные продукты откачиваются компрессором в ресивер.

При этом производится согласование объемов загрузки (доз загрузки) субстрата в биореактор и интенсивности выделения биогаза.

2.2. Экспериментальная установка

В КазНИИМЭСХ разработана биогазовая установка БУ-5 с двухкамерным биореактором [1], на которой были проведены экспериментальные исследования по определению показателей, характеризующих эффективность анаэробных технологий (рисунок 2).

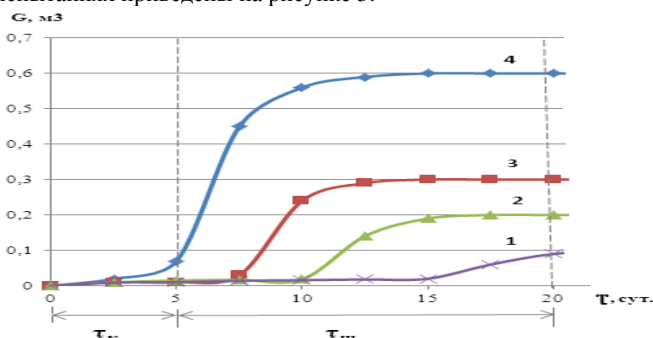


1 – биореактор; 2 – газгольдер; 3 – гидрозатвор; 4 – топливный котел; 5 – технологические трубопроводы; 6 – разделительная перегородка; 7 – теплообменник; 8 – теплоизолирующий экран; 9 – камера кислотного сбраживания субстрата; 10 – камера щелочного сбраживания субстрата; 11 – загрузочная камера; 12 – разгрузочная камера; 13 – входной патрубок; 14 – выходной патрубок; 15 – огнепреградительный затвор; 16 – газопровод; 17 – манометр; 18 – компрессор; 19 – ресивер.

Рисунок 2 - Технологическая схема биогазовой установки БУ-5 (а) с двухкамерным биореактором (б).

Биогазовая установка работает следующим образом. Исходное сырье после предварительной подготовки заливается в загрузочную камеру 11, откуда попадает в камеру кислотного брожения 9, где создается мезофильный режим брожения, который обеспечивает оптимальные условия для развития популяции микроорганизмов, обеспечивающих кислотную фазу процесса первичного разложения биомассы. Затем через окно в перегородке 6 биомасса подается в камеру щелочного брожения 10, где создается термофильный режим брожения, который обеспечивает оптимальные условия для щелочной фазы процесса – метаногенеза. В обеих камерах 9, 10 обеспечивается интенсивное перемешивание субстрата с помощью механических мешалок. Образующийся в процессе брожения биогаз накапливается в газгольдере 2, откуда перекачивается компрессором 18 в ресивер 19.

Результаты исследований условий обеспечения биосинтетической активности микроорганизмов при испытаниях приведены на рисунке 3.



1 – доза загрузки 3% (15 л/сут); 2 – доза загрузки 6% (30 л/сут); 3 – доза загрузки 15% (60 л/сут); 4 – доза загрузки 20% (100 л/сут); τ_k – время экспозиции в стадии кислотного брожения; $\tau_{щ}$ – время экспозиции в стадии щелочного брожения.

Рисунок 3 – Зависимость продолжительности стадий кислотного и щелочного сбраживания и выхода биогаза от дозы загрузки биомассы в биогазовую установку с объемом реактора $0,5 \text{ м}^3$ в мезофильном режиме

Анализ полученных данных говорит о том, что при изменении дозы загрузки биомассы от 3 до 20% удельный выход биогаза составляет для мезофильного режима $0,2...1,2 \text{ м}^3/\text{м}^3$ в сутки и для термофильного режима $0,4...2,16 \text{ м}^3/\text{м}^3$ в сутки. Полученные данные свидетельствуют, что стадия кислотного брожения наиболее эффективно протекает в мезофильном режиме, а её продолжительность снижается от 15 до 5 суток, при увеличении дозы загрузки от 3 до 20%, температура – $30...35 \text{ }^\circ\text{C}$, кислотность $\text{pH}=4,8...7,2$.

В камере кислотного брожения биореактора объемом $1,5 \text{ м}^3$ при дозе загрузки 20% кислотная фаза процесса протекает при мезофильной температуре и продолжается 72 часа (3 сут), а в камере щелочного брожения объемом $3,5 \text{ м}^3$ при дозе загрузки 10% щелочная фаза процесса протекает при более высокой термофильной температуре и продолжается 168 часов (7 сут). Таким образом, данная технология анаэробной переработки отходов позволяет интенсифицировать процесс сбраживания.

Использование в первой фазе брожения более низкой температуры мезофильного режима позволяет снизить расход тепловой энергии на нагрев биореактора на $20...25\%$.

Анализ данных испытаний биогазовой установки [3] показывает, что производительность установки по биогазу составляет – $15 \text{ м}^3/\text{сут}$, по удобрению – $0,5...0,7 \text{ т}/\text{сут}$, объем биореактора – 5 м^3 , температура субстрата в камере кислотного брожения – $30...35 \text{ }^\circ\text{C}$, в камере щелочного брожения – $52...54 \text{ }^\circ\text{C}$, расход биогаза на нагрев – $6,2 \text{ м}^3/\text{сут}$, плотность полученного удобрения – $964,9 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Химический анализ проб органического удобрения, отобранных в процессе работы биогазовой установки показал высокое содержание питательных веществ: в 1 т удобрения содержится: 16,52 кг азота (N), 23,2 кг фосфора (P_2O_5), 21,6 кг калия (K_2O).

Анализ наличия патогенной микрофлоры в органическом удобрении и эффективности обеззараживания, наличия яиц гельминтов и семян сорняков показал, что общее микробное обсеменение исходного навоза (коли-индекс) – 10^9 КОЕ, после анаэробного сбраживания в биогазовой установке общее микробное обсеменение готового органического удобрения снизилось до 10^7 КОЕ, таким образом, степень обеззараживания навоза в биогазовой установке составляет 99%. В органическом удобрении инактивированы яйца гельминтов, а семена сорных растений полностью потеряли всхожесть.

Разработана методика расчета основных параметров технологического оборудования для переработки отходов.

Выход навоза на ферме:

$$Q_H = A_1 a_1 + A_2 a_2 + \dots + A_n a_n, \text{ м}^3 / \text{сут}, \quad (1)$$

где A_1, A_2, A_n - число животных по половозрастным группам, гол; a_1, a_2, a_n - количество экскрементов в сутки от одной головы, кг.

Суточный расход подстилки для животных определяется

$$Q_{II} = A_1 e_1 + A_2 e_2 + \dots + A_n e_n, \text{ м}^3 / \text{сут} \quad (2)$$

где e_1, e_2, e_n - суточный расход подстилки на 1 голову по группам, кг.

Общий выход навоза

$$Q_{\text{общ}} = Q_H + Q_{II} + Q_{III}, \text{ м}^3 / \text{сут}, \quad (3)$$

где Q_{III} – расход воды на гидросмыв навоза, м^3 , на малых фермах гидросмыв не применяется, $Q_{III}=0$.

Содержание сухого вещества в навозе

$$P_{CB} = \frac{Q_{\text{общ}}(100 - W_H)}{100}, \text{ т} / \text{сут}, \quad (4)$$

где W_H - влажность навоза.

Влажность субстрата после разведения навоза водой в количестве $Q_B=2,2 \text{ т}$

$$W_C = \frac{Q_H W_H + Q_B W_B}{Q_H + Q_B}, \% \quad (5)$$

Количество органических веществ в навозе

$$P_{OB} = 0,85 \cdot P_{CB}, \text{ т} / \text{сут} \quad (6)$$

Объем резервуара-накопителя для готового удобрения

$$V_y = \frac{Q_{\text{общ}} t_{\text{хр}}}{K_u} \text{ м}^3 \quad (7)$$

где $t_{\text{хр}}$ – время хранения, сут; K_u – коэффициент использования ($K_u=0,5...0,9$).

Рабочий объем биореактора для обработки навоза составляет

$$V_p = \frac{Q_{\text{общ}} \cdot t_{CB}}{K_3}, \text{ м}^3 \quad (8)$$

где t_{CB} - продолжительность сбраживания, сут; K_3 – коэффициент загрузки биореактора ($K_3=0,9...0,98$).

Таким образом, технологический расчет оборудования для переработки навоза с использованием биогазовой установки обеспечивает правильный выбор и эффективную работу системы утилизации и позволяет получать дешевые, высококачественные и экологически чистые органические удобрения.

3. Заключение

Разработана усовершенствованная технология биообработки сельскохозяйственных отходов, включающая следующие операции: предварительную подготовку сырья, кислотную стадию сбраживания субстрата и щелочную стадию. Разработана биогазовая установка с двухкамерным биореактором, проведены натурные испытания и приведены их результаты.

Совершенствование технологии биологической обработки отходов позволит, прежде всего, значительно повысить производительность оборудования без увеличения объема биореактора, а также перейти к разработке высокопроизводительных биореакторов большого объема. В этом случае можно обеспечить эффективное использование биогазовых установок на животноводческих фермах и комплексах, сохранение блочно-модульного принципа построения комплексов оборудования.

4. Литература

- 1 Инновационный патент №23450 Республика Казахстан, МПК С02F11/04. Биореактор /Сейтбеков Л.С., Барков В.И., Токмолдаев А.Б., Аблинанов В.А. опублик. 15.12.2010, бюлл. №12. – С. 4.
- 2 Redoxpotential als Messgröße für Biogasanlagen. Euroheat and Power. 2012. 41, №6, с.71..
- 3 Барков В.И. Результаты испытаний биогазовой установки в фермерском хозяйстве// Материалы VII международной научно-практической конференции «Будущее исследования», Т.13. София изд.: Бял ГРАД-БГ ООД. – 2011. – С. 58-62. (Токмолдаев А.Б., Аблинанов В.А., Сарыбаев Б.А.).