

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ БИОГАЗА В БИОРЕАКТОРАХ С БАРБОТАЖНЫМ ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ СУБСТРАТА

suslov1687@mail.ru

**Кушев Л.А., д-р техн. наук, проф.,
Суслов Д.Ю., канд. техн. наук, доц.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. Работа посвящена исследованию процесса получения биогаза и разработке биореактора. Разработана конструкция биореактора, оснащенного системой барботажного и механического перемешивания. Предложена математическая модель процесса барботажного перемешивания, которая позволяет определить конструктивные и технологические параметры биореактора.

Ключевые слова: биогаз, биореактор, барботажное перемешивание, экспериментальные исследования.

В настоящее время в Российской Федерации действует государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынка сельскохозяйственной продукции, сырья и производства, в связи с этим довольно остро встали экологические проблемы утилизации органических отходов животноводческих и птицеводческих предприятий.

Наиболее актуальна эта проблема для Белгородской области, которая производит около половины всей мясной продукции Центрального Федерального округа РФ, а доля области в общероссийском производстве по видам продукции составляет: около 20% свинины и 15 % мяса птицы. При этом ежегодное количество образующихся органических отходов животноводческих и птицеводческих предприятий составляет более 15 млн.т. [1].

В развитых странах мира решение этих проблем производится путем применения биогазовых технологий. Лидерами по внедрению биогазовых установок являются Германия, США, Великобритания, Япония, Франция, Китай и Скандинавские страны [2-3].

Для получения биогаза применяются биогазовые установки с различными конструктивными и технологическими особенностями. При этом, конструктивно все биогазовые установки практически не

отличаются друг от друга, и представляют собой герметично закрытую емкость, в которой при определенных условиях происходит сбраживание органического субстрата с образованием биогаза и биоудобрений. Основным компонентом биогазовой установки является биореактор (рис. 1), в котором протекает процесс анаэробной ферментации, также установка содержит газгольдер, системы подготовки и сбора субстрата, устройства подогрева и перемешивания, КИП и автоматики [4-5].

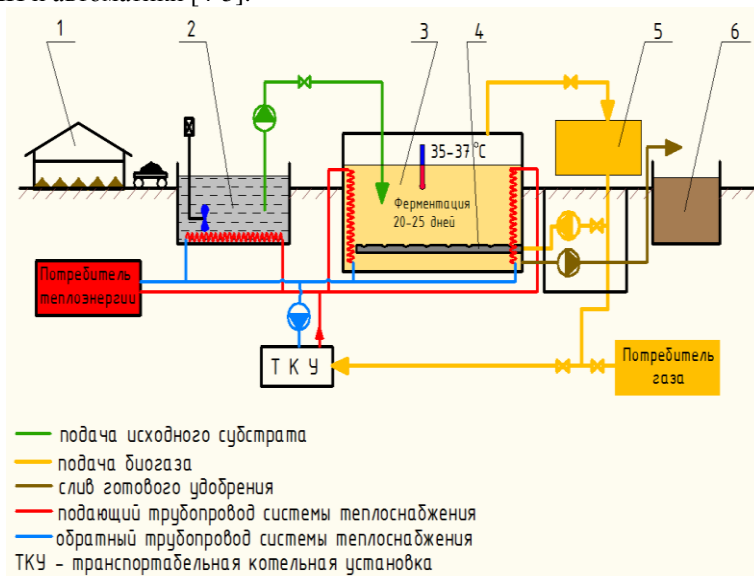


Рисунок 1 – Общая схема биогазовой установки:

- 1 – источник отходов; 2 – система подготовки субстрата; 3 – биореактор;
4 – система перемешивания; 5 – газгольдер; 6 – резервуар удобрения

В большинстве установок применяются механические мешалки лопастного типа, однако при их работе на поверхности биомассы наблюдается образование корки, которая препятствует выходу биогаза и замедляет процесс анаэробной ферментации [5-6].

Решение этих проблем возможно за счет использования системы перемешивания. Разработан биореактор с системой перемешивания комбинированного типа, производящей механическое и барботажное перемешивание.

Биореактор для получения биогаза содержит корпус, внутри которого расположено перемешивающее устройство, состоящее из лопастей, жестко закрепленных на полом валу. Лопасти выполнены в виде полых трубок с отверстиями, сечение которых уменьшается, по ходу движения газа. Биореактор также снабжен патрубками ввода и удаления субстрата и газовым патрубком для отвода получаемого биогаза.

Разработана математическая модель процесса барботажного перемешивания биомассы, основанная на рассмотрении циркуляции двухфазного газожидкостного потока в турбулентном режиме. Учитывая высокий расход барботируемого газа, для описания движения биомассы приняты уравнения Рейнольдса для осредненного турбулентного режима.

$$\frac{du_j}{dx_j} = 0, \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \Pi_{ij} + F_i, \quad (2)$$

где $i, j=1,2,3$; $u_1 = u_x$, $u_2 = u_y$; $u_3 = u_z$ - осредненные по времени проекции вектора скорости; P - осредненное значение давления; F_i - осредненные проекции силы межфазного взаимодействия; Π_{ij} - тензор турбулентных напряжений, возникающих в биомассе:

$$\Pi_{ij} = -\rho \langle u'_i u'_j \rangle, \quad (3)$$

где u'_i, u'_j - турбулентные пульсации проекций скорости биомассы, $\langle \dots \rangle$ - знак осреднения; по индексу, который встречается в выражении дважды, выполняется суммирование:

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} = \text{div} \bar{u}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} = \frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_3^2} = \Delta \bar{u} \quad (5)$$

В рамках $\kappa-\varepsilon$ модели турбулентности для тензора турбулентных напряжений принимается выражение:

$$\Pi_{ij} = -\rho \left(\frac{2}{3} \kappa_{\text{ам}} \delta_{ij} - \nu_{\text{тб}} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right), \quad (6)$$

где $\kappa_{\text{бм}}$ - турбулентная кинетическая энергия биомассы (энергия турбулентных пульсаций ее скорости), ε - скорость диссипации турбулентной энергии, δ_{ij} - символ Кронекера:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i=j \\ 0, & \text{если } i \neq j \end{cases} \quad (7)$$

$\nu_{\text{б}}$ - коэффициент кинетической турбулентной вязкости биомассы.

Для проведения экспериментальных исследований процесса получения биогаза при анаэробной ферментации отходов КРС разработана экспериментальная установка (рис. 2).

Основными элементами экспериментальной установки являются биореактор с системами обогрева и перемешивания биомассы, а также система очистки и учёта биогаза.

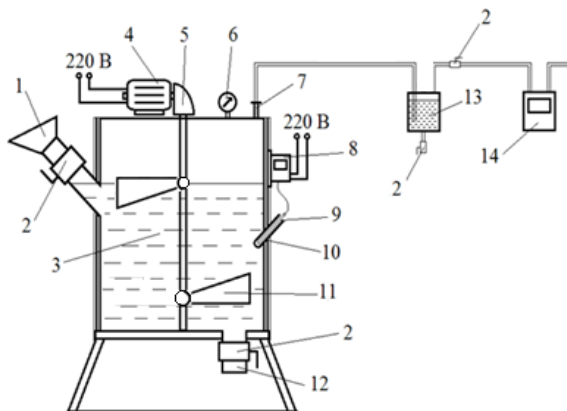


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки для получения биогаза:

- 1 – входной патрубок; 2 – кран; 3 – биореактор, 4 – электродвигатель;
- 5 – редуктор; 6 – манометр; 7 – патрубок выхода биогаза; 8 – регулятор температуры; 9 – термометр; 10 – патрубок размещения термометра и датчика температуры; 11 – механическая мешалка; 12 – патрубок слива; 13 – фильтр; 14 – счётчик газовый

Экспериментальная установка для получения биогаза работает следующим образом: биореактор заполняется, до определённого уровня, поступающим из патрубка загрузки исходным субстратом. При достижении определённого уровня заполнения подача субстрата прекращается и шаровый кран, установленный на патрубке загрузки

исходного субстрата, герметично закрывается. Далее в биореакторе осуществляется процесс поддержания оптимальных технологических параметров, необходимых для жизнедеятельности анаэробных метанобразующих бактерий. Данный процесс обеспечивается поддержанием оптимальной температуры по средствам работы системы подогрева, а также перемешиванием биомассы внутри биореактора за счёт периодической работы механической мешалки. В результате анаэробной ферментации выделяется биогаз, который собирается в верхней части биореактора. Далее образовавшийся биогаз протекает по системе трубопроводов, очищается фильтром, проходит через счётчик, в котором производится учёт расхода газа.

В результате обработки данных полученных в результате эксперимента методом полиномиальной интерполяции были получены зависимости объёмов выхода биогаза (V_6) от продолжительности сбраживания субстрата (τ):

– для температурного режима 37 °С:

$$V_6 = 3E-08 \tau^5 - 2E-06 \tau^4 + 4E-05 \tau^3 - 0,0002 \tau^2 + 0,002 \tau + 0,0013 \quad (8)$$

– для температурного режима 41 °С:

$$V_6 = 2E-08 \tau^5 - 1E-06 \tau^4 + 2E-05 \tau^3 + 0,0001 \tau^2 + 0,0014 \tau + 0,0079 \quad (9)$$

Сравнение проведённых экспериментов изображено на рисунке 3.

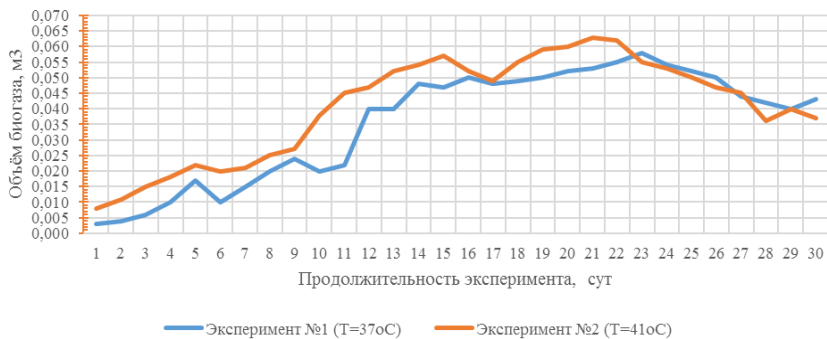


Рисунок 3 – График зависимости выхода биогаза при разных температурных режимах

Проанализировав данные (рис. 3) можно прийти к выводу, что при увеличении температуры происходит заметный рост выхода биогаза. Процентное значение прироста выхода биогаза Δ (%) составляет:

$$\Delta = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \cdot 100\% = \frac{1,223 - 1,066}{1,066} \cdot 100\% = 14,92\%$$

Выводы. Разработана конструкция биореактора, оснащенного системой барботажного и механического перемешивания. Это позволяет равномерно распределять пузыри газа, что обеспечивает равномерное распределение популяции бактерий и температуры по всему объему биореактора. Получена математическая модель, описывающая гидродинамические процессы, возникающие при барботажном перемешивании биомассы. Модель может быть использована при проектировании и расчете биогазовых установок.

Проведены экспериментальные исследования процесса получения биогаза при анаэробной ферментации отходов КРС. Получены зависимости выхода биогаза от продолжительности процесса анаэробной ферментации при двух температурных режимах. Установлено, что при увеличении температуры биомассы с 37°C до 41°C выход биогаза увеличивается на 13 %.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-48-08039 «р_офи_м», с использованием оборудования ЦВТ БГТУ им. В.Г. Шухова.

Список литературы:

1. Седых П.С., Суслов Д.Ю. Использование биогаза в регионах с высоким уровнем развития сельскохозяйственного сектора // Успехи современного естествознания. 2014. №8. С. 154 – 157.
2. Abdurahman N.H., Rosli Y.M., Azhari N.H., Tam S.F. Biomethanation of palm oil mill effluent (POME) by membrane anaerobic system (MAS) using POME as a substrate. World academy of science, Engineering and technology. 2011. 75. P. 419 – 424.
3. Веденеев А.Г., Веденева Т.А. Руководство по биогазовым технологиям. «ДЭМИ», 2011. 84 с.
4. Руководство по биогазу. От получения до использования / Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR). Район Гюльцов Хоффлатц 1, 18276 Гюльцов-Прюцен Германия. 2010. 213 с.
5. Эдер Б., Х. Шульц. Биогазовые установки, практическое пособие. 1996. Перевод с немецкого Zorg Biogas в 2008 г.
6. Кушев Л.А., Суслов Д.Ю. Расчет экономической эффективности использования биогазовой установки с барботажным реактором // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. №5. С. 183 – 186.