

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

*Максимов В.П. доктор технических наук, профессор,  
Баранов А.С. аспирант ФГОУ ВО НИМИ Донской ГАУ*

**Аннотация.** Рассмотрены способы получения мелкодисперсной гомонизированной разнокомпонентной биомассы как начального этапа процесса функционирования биогазовой установки. Определена рациональная схема предварительного измельчения компонентов. Предложена концепция объединения трех стадий технологического цикла и разработана модель структурной оптимизации в форме графа сети Петри.

**Ключевые слова:** биогазовая установка, измельчение компонентов, модель процесса.

Получение биогаза из органических отходов основано на свойстве последних выделять горючий газ в результате так называемого «метанового сбраживания» в анаэробных (без доступа воздуха) условиях. Биогаз, образующийся при метановом сбраживании, представляет собой смесь, состоящую из 50...80% метана, 20...50% углекислого газа, примерно 1 % сероводорода, а также включающую в себя незначительное количество некоторых других газов (азота, кислорода, водорода, аммиака, закиси углерода и др.) [1,2]. В современных биогазовых реакторах при обработке навоза часто имеют место случаи выхода необработанного навоза, что ведет не только к повторному заражению как сброженной биомассы, но и к внесению в почву семян сорных растений. Одной из основных причин указанного является недостаточная однородность загружаемого в биореактор сырья. Установлено, что высокая степень гомонизации и мелкодисперсность повышает выход метана до 75% и снижает органическую загрязненность осадка до 5% [1-3]. Однако выполнить эти условия на практике чрезвычайно трудно, особенно для наиболее востребованных с точки зрения экологической безопасности составных смесей (отходы животноводства и птицеводства, пищевые отходы, растительные остатки). Здесь требуются усовершенствованные технологии и устройства по предварительной подготовке исходного сырья.

В настоящее время отсутствуют исследования в области комплексного использования систем подготовки мелкодисперсной гомонизированной смеси органических отходов животноводства с высоким содержанием растительных и пищевых остатков для последующей их анаэробной переработки в биореакторах.

В этой связи повышение эффективности работы малых биореакторов за счет обоснования конструкции и параметров систем подготовки многокомпонентного исходного сырья является актуальной проблемой,

представляющей научный и практический интерес. Данные системы могут быть реализованы несколькими способами [4-7]:

- с применением биоактивных составов ускоряющих разложение биомассы;
- сепарированием навоза для достижения однородной консистенции биомассы с последующей отдельной утилизацией соломы или же её измельчением и последующим добавлением к навозу при загрузке в биореактор;
- измельчение соломы без предварительного фильтрования навоза, что в сравнении с указанными выше вариантами подготовки смеси является наименее затратным способом.

Измельчение возможно производить механическим и не механическим способом. Рассмотрим некоторые из немеханических способов измельчения. Следует отметить, что приведенная классификация по способам воздействия достаточно условна:

1. Температурный. Материалы, имеющие микропоры, можно насыщать водой при температурах 200—300°C, т. е. под высоким давлением, а затем быстрым изменением давления «взрывать» частицы. Использование высоких температур в условиях биогазовой установки не допустимо.

2. Резонансный (ультразвуковой). Ультразвуковым методом можно разрушать частицы вибрацией, резонирующей с их собственной частотой колебаний. Однако энергии излучателя, как правило, не хватает на измельчение значительного объема материала и требует предварительной переработки механическим способом. Комплексное использование позволяет достичь более качественного измельчения материала. Вместе с тем применение данного способа измельчения требует использования оборудования с широким диапазоном рабочих частот из-за неоднородности перерабатываемого сырья. В целом данный способ измельчения сырья является энергозатратным.

3. Гидравлический (кавитационный). Известен и такой оригинальный способ измельчения, как гидравлической ударной волной, возникающей за счет, например, мгновенного разряда конденсатора – т.е. с помощью эффекта Юткина. Этот же способ измельчения также используют кавитационные мельницы. В них материал помещается в жидкость, в которой с большой скоростью движется рабочий орган (аналог гребного винта судна). Проблема в том, что энергия удара одинаково действует и на измельчаемый материал и на мельницу, вызывая чрезвычайно большой износ рабочих органов последней.

4. Электроимпульсный. На рынке появляются предложения по измельчению материалов с помощью подачи в них электрических разрядов. Проблема метода в его высокой энергозатратности, которая обусловлена низким КПД процесса. Метод требует создания аппаратуры, способной сократить длительность импульса при одновременном увеличении его амплитуды. Дело в том, что интенсивность воздействия на материал зависит от амплитуды, но работа (и соответствующие энергозатраты) определяются площадью под кривой напряженности поля. В результате, чем длительнее импульс, тем

больше энергии тратится нерезультативно: на нагрев материала, а не на его разрушение. Для повышения КПД установки требуется сократить время длительности импульса. Такие установки, выдающие короткие мощные импульсы, уже существуют, но скорее в разрезе НИОКР, чем в промышленном. В настоящее время данное оборудование чрезвычайно дорогостояще.

5. Криогенный. Один из недостатков, возникающих при измельчении вязких, упругих и вязкоупругих, заключается в том, что при комнатной температуре энергозатраты на их переработку очень велики, хотя непосредственно на измельчение расходуется не более 1 % энергии, основная же ее часть преобразуется в теплоту. Поэтому в последние 15...20 лет все большее применение находит техника криогенного измельчения, которая позволяет охлаждать материал ниже температуры хрупкости. Как правило, в качестве охлаждающего агента используют жидкий азот, имеющий температуру - 196°С, что значительно ниже температуры хрупкости используемого сырья. При таком способе дробления резко возрастает степень измельчения, повышается производительность процесса, снижаются удельные энергозатраты, предотвращается окисление продукта. Однако применение данного способа связано с рядом проблем решение которых затруднительно в условиях сельскохозяйственного производства:

- необходимо постоянно иметь в наличии значительного запаса хладагента;
- приобретение дорогостоящих резервуаров, требующих периодической проверки, что в свою очередь также является дорогостоящей процедурой.
- усложнение технологического цикла подготовки биомассы и усложнение конструкции биогазовой установки в целом.

6. Струйный. Данный метод заключается в разрушении исходного материала с использованием газовых или гидравлических струй высокого давления. Достоинства струйного измельчения следующие:

- низкая металлоемкость и размеры отдельной мельницы.
- отсутствие в мельнице движущихся частей.
- большая однородность готового материала по крупности.

Недостатки:

- конструктивная сложность оборудования необходимого для создания высокого давления газовой или гидравлической среды, что изначально увеличивает стоимость всего решения.
- относительно невысокая производительность разработанных конструкций.
- необходимость, в случае применения воды для измельчения, дополнительного её регулирования с целью поддержания требуемой консистенции биомассы загружаемой в биореактор.

В отличие от рассмотренных способов, механические способы разрушения наиболее многочисленны и широко используются в технологиях, получивших практическое применение. Приоритет в своем развитии они удерживают и до настоящего времени. Несмотря на постоянное совершенствование и усложнение, в основе механических способов остались

традиционные виды воздействия рабочих органов машин на измельчаемый материал: удар, истирание, сжатие, сдвиг.

Измельчение сельскохозяйственного сырья выполняется в молотковых и гладковалковых дробилках, шаровых, центробежных, конических и дисковых мельницах, мельницах самоизмельчения и вальцовых станках.

Из представленного выше оборудования возможность осуществлять измельчение сырья для биогазовой установки с наибольшей эффективностью имеют шаровые, конические и дисковые мельницы, так как они могут работать в мокром и сухом режиме.

Барабанная мельница - это машина, в которой материал измельчается внутри вращающегося корпуса (барабана) под воздействием мелющих тел или самоизмельчением. Мелющими телами служат металлические шары или стержни. Коническая мельница содержит соосно смонтированные в корпусе статор и ротор, разделенные по высоте на секции и выполненные в виде усеченных конусов.

В дисковой мельнице измельчение материала происходит между двумя действующими друг на друга измельчающими дисками с внутренним грубым зацеплением за счет сил давления и среза. Дисковые мельницы стали более распространены по сравнению с коническими благодаря основным преимуществам: – простота конструкции; – более низкому удельному расходу энергии, что объясняется ее меньшими гидродинамическими потерями; – возможности размолла массы при высокой концентрации (до 30%), в конических до 5%; – большей единичной производительности и мощности; – значительному сокращению трудоемкости и продолжительности замены изношенной гарнитуры.

На основании изложенного выше можно заключить, что одним из перспективных способов повышения эффективности работы малых биореакторов является применение систем подготовки соломосодержащего навоза с использованием дисковой мельницы, например типа Эксельсиор.

В соответствии с предложенной концепцией объединения трех стадий технологического цикла разработана модель структурной оптимизации в форме графа сети Петри (рисунок 1). Для чего применена логическая система правил, которая моделирует процессы перехода различных исходных материалов в конечную продукцию и позволяет анализировать структуру процесса. При этом приемлемой является теория логической системы правил и исчисления высказываний.

В разработанной модели отражены все этапы процесса сбраживания смеси различных отходов. Показан цикл процесса получения высокоэффективного многокомпонентного органического удобрения, биогаза.

Учитывая важность рассматриваемой проблемы и особенности Ростовской области учеными НИМИ и ДЗНИИСХ [8] разработан проект биогазовой установки для условий малых сельских хозяйств Ростовской

области, отвечающий всем современным требованиям, имеющую высокую эффективность и инвестиционную привлекательность.

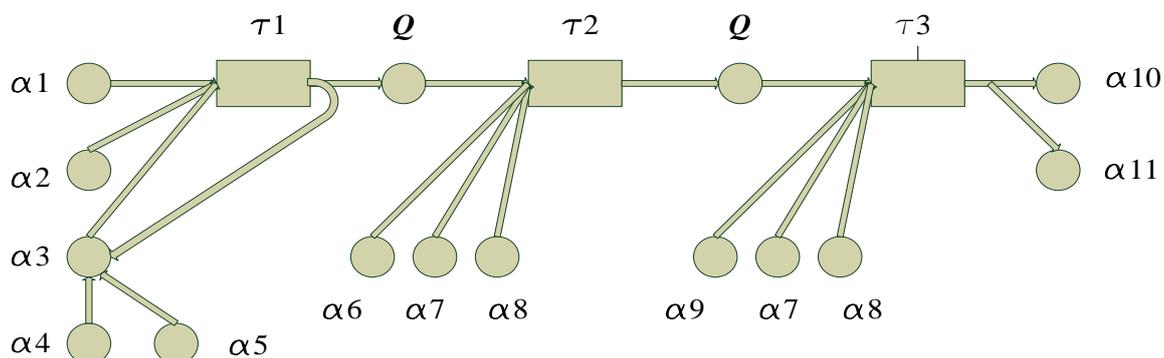


Рисунок 1 – Модель процесса биогазовой установки в форме графа сети Петри:  $\alpha 1$  – отходы животноводства и птицеводства;  $\alpha 2$  – растительные остатки;  $\alpha 3$  – подготовка смеси;  $\alpha 4$  – измельчение;  $\alpha 5$  – перемешивание;  $\alpha 6$  – 1-я секция реактора;  $\alpha 7$  – подвод тепла;  $\alpha 8$  – перемешивание;  $\alpha 9$  – 2-я секция реактора;  $\alpha 10$  – биогаз;  $\alpha 11$  – удобрения

## Литература

1. Ильин С.Н. Ресурсосберегающая технология переработки свиного навоза с получением биогаза [Текст] / С.Н. Ильин. - Иркутск, 2005. - 171 с.
2. Чернышов А.А. Совершенствование биогазовых установок для производства удобрений из навоза КРС [Текст] А.А. Чернышев. - Москва, 2004. - 118 с.
3. Кондратов А.В. Совершенствование процесса и аппарата с использованием кавитационного эффекта для измельчения комбинированных рыбопродуктов [Текст] / А.В. Кондратьев. - Санкт-Петербург, 2008. 62 с.
4. Андреев Е.Е., Тихонов О.Н. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению [Текст] / Е.Е. Андреев, О.Н. Тихонов. - Санкт-Петербургский горный институт. СПб., 2007. 439 с.
5. Аппараты для измельчения и классификаторы струйным потоком воздуха. Каталог \ СЭИСИН Ентепрайз Ко, ЛТД. - Токио, 1985, 6 с.
6. Акунов В.И. Струйные мельницы [Текст] М.Машиностроение. 1967., 264с.
7. Капустин В. П. Обоснование способов и средств переработки бесподстилочного навоза [Текст] / В.П. Капустин. - Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. 80 с.
8. Максимов В.П. Альтернативное энергоснабжение малых крестьянских хозяйств на базе биогазовых установок [Текст] / В.П. Максимов, И.В. Камбулов, А.И. Шевченко, В.Е. Зинченко, В.Н. Мотин // Мелиорация и водное хозяйство – Выпуск 9. – матер. научн.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития мелиорации и водного хозяйства», 29-30 сентября 2011 г., Новочеркасск: Лик, 2011