

## 1. Выбор конфигурации установки, входные и выходные параметры.

Основной исходной величиной для проектирования биогазовой установки с заданным объемом реактора является собственно сама величина объема. Известно, что объем субстрата в реакторе в форме вертикального цилиндра должен составлять около 80% общего объема реактора. 20% используются для создания газового буфера. Следовательно, общий объем субстрата в биогазовой установке составит  $5 \cdot 80/100 = 4$  куб.м. Основными видами сырья для однореакторной установки являются различные виды навоза от домашних животных. Это может быть навоз крупного рогатого скота (КРС), свинной, лошадиный, козий, овечий. Согласно статистическим данным, такие типы навозы имеют исходную влажность 65% и плотность от 600 до 950 кг/куб.м. Субстрат в биогазовой установке должен иметь влажность в диапазоне 86-92%. Для достижения необходимой влажности навоз разбавляется водой или мочой, или же берется уже в разбавленном виде от системы стоков помещения для содержания животных. Для максимальной экономии материалов при производстве биогазовой установки и достижения максимальной ее производительности субстрат желательнее использовать с минимально допустимой влажностью. Консистенция субстрата должна позволять легко переливать, перекачивать и перемешивать его. На вид она напоминает консистенцию жидкой сметаны.

Плотность сухого вещества сырья:  $\rho_{\text{сух}} = (\rho_{\text{сыр}} \cdot (1 - (h_{\text{сыр}}/100))) / (1 - \rho_{\text{сыр}} \cdot h_{\text{сыр}}/100/\rho_{\text{воды}})$ , где

$\rho_{\text{сыр}}$  – плотность сырья, в нашем случае 950 кг/куб.м;

$h_{\text{сыр}}$  – влажность сырья, в нашем случае 65%;

$\rho_{\text{воды}}$  – плотность воды, составляет 1000 кг/куб.м

Плотность субстрата:  $\rho_{\text{суб}} = \rho_{\text{сух}} \cdot (1 + h_{\text{суб}}/(100 - h_{\text{суб}})) / (1 + h_{\text{суб}} \cdot \rho_{\text{сух}}/(100 - h_{\text{суб}})/\rho_{\text{воды}})$ , где

$\rho_{\text{сух}}$  – плотность сухого вещества сырья, вычисленная по предыдущей формуле;

$h_{\text{суб}}$  – требуемая влажность субстрата, в нашем случае 86%;

$\rho_{\text{воды}}$  – плотность воды, составляет 1000 кг/куб.м

Если рассчитать плотность субстрата с влажностью 86%, то она составит 979 кг/куб.м. Эта цифра имеет большое значение для всех дальнейших расчетов.

Проектируемая установка будет работать в мезофильном режиме, хотя ее конструкция позволяет запустить ее и в термофильном режиме.

Количество выделяемого в сутки биогаза можно определить двумя способами. Первый способ подразумевает наличие табличных данных о суточном выходе биогаза из килограмма (тонны) сухого вещества исходного сырья. Второй способ базируется на информации о типе сырья и объеме реактора. Поскольку точную информацию о производительности конкретной установки на конкретном сырье можно получить только экспериментальным путем, то вполне можно пользоваться для расчетов вторым косвенным методом. Например, для навоза КРС суточный выход биогаза составит 1,1-1,3 объема реактора, для свиного навоза – 1,3-1,5, для птичьего помета – 2,5-3. Применение чистого птичьего помета в однореакторной схеме представляет определенные трудности, поэтому стоит рассматривать два первых случая. Таким образом, наша установка в сутки в мезофильном режиме сможет выработать 5,5-7,5 куб.м биогаза с содержанием метана около 60%. По теплотворной способности это соответствует примерно 3,5-4,7 куб.м природного газа. Понятно, что такие количества биогаза пригодны, в основном, для приготовления пищи, нагрева воды. Подогрев реактора собственным биогазом при таких его объемах становится экономически невыгодным. Ввиду почти глобальной доступности электроэнергии имеет смысл применить прямой электрический подогрев субстрата в реакторе тепловыми электрическими нагревателями (ТЭНами).

Для указанных видов сырья оптимальный цикл брожения в реакторе составляет не более 20 суток. Биогазовая установка будет работать в непрерывном цикле, т.е. ежедневно в нее будет добавляться порция сырья, и такая же порция шлама будет сливаться. Таким образом, при цикле в 20 суток и общем объеме субстрата в реакторе 4 куб.м, суточная порция субстрата составит 200 л. Примерно такое же количество шлама будет выливаться ежедневно.

Методом обратного пересчета можно определить, для приготовления 200 л субстрата понадобится 78 кг навоза (82 л или 8 ведер) и 117,5 кг (л) воды. Таким образом, для приготовления суточной порции субстрата понадобятся 8 ведер навоза без мочи и 12 ведер воды.

На самом деле, определить влажность исходного сырья, особенно в домашних условиях, практически невозможно. Но можно определить плотность. Плотность определяется методом Архимеда:

Возьмите ведро, мерный кувшин со шкалой объема и весы. Налейте в ведро 5 литров воды, отмеряя кувшином. Сделайте метку на стенке ведра. Вылейте воду. Взвесьте пустое ведро. Затем, положите в ведро некоторое количество исходного сырья. Взвесьте ведро. После вычитания веса пустого ведра у Вас останется масса сырья  $m$ . Доливайте в ведро воду до 5 литров по метке в ведре, измеряя кувшином, сколько воды Вы долили. При доливании перемешивайте содержимое, чтобы ушли пузырьки воздуха из сырья. Вычтите из 5 литров объем долитой воды. Получите объем  $V$  сырья. Разделите массу  $m$  на объем  $V$ , и получите плотность исходного сырья.

Можно обойтись и без измерений влажности. Достаточно определить экспериментально необходимую степень разведения сырья водой. Для этого возьмите то же ведро, весы и мерный кувшин. Положите в ведро некоторое количество сырья и определите его массу взвешиванием. Потом понемногу небольшими порциями доливайте воду и тщательно размешивайте субстрат, пока он не станет настолько текучим, чтобы свободно протекать по трубам и перемешиваться. Запомните, сколько воды Вы при этом добавили. В результате Вы получили массовое и объемное соотношение ингредиентов субстрата. Можете воспользоваться именно им, а не предыдущими расчетными данными.

Единственная величина, которую все-таки надо рассчитать – это плотность субстрата. Рассчитывается она, исходя из измеренной плотности исходного сырья. Зная плотность исходного сырья и воды, а также пропорцию смеси, просуммируйте массы и объемы ингредиентов, а потом разделите суммарную массу на суммарный объем. Полученную плотность субстрата мы будем использовать в дальнейших расчетах.

Навоз не должен содержать фрагментов, крупнее 1 см в длину. Поэтому при наличии соломенной подстилки она должна быть удалена из навоза. Также можно использовать подстилку из предварительно измельченной соломы. Измельчение смеси соломы с навозом настолько энергозатратно, что теряется экономический смысл биогазовой установки. Цикл брожения соломы составляет до 80 суток, а удельный выход биогаза примерно в 1,5 раза ниже, чем у навоза КРС. Поэтому при 20-суточном цикле солома будет выходить из биогазовой установки практически не переработанной, и только зря будет занимать рабочий объем реактора.

Для буферизации и стабилизации выходного давления биогаза в проектируемой установке применяется газгольдер – регулятор давления рабочим объемом около 1 куб.м. Этого хватит для буферизации 3,2 часовой выработки биогаза. Будет применяться газгольдер сухого типа в виде кузнечных мехов. Такая конструкция позволит эксплуатировать газгольдер в любых климатических условиях, а также уменьшить необходимый вес груза газгольдера.

Для электропитания биогазовой установки понадобится сеть трехфазного тока напряжением 380В и максимальным током по каждой фазе до 10 А. Также можно применить сеть однофазного переменного тока напряжением 220В и максимальным током 20А.

Блок автоматики биогазовой установкой сделан на базе цифрового таймера и цифрового терморегулятора с датчиком. Это позволяет гибко программировать режимы работы установки.

Ежесуточно из установки будет сливаться 200 л шлама. Этот шлам является ценнейшим биоудобрением. Необходимо предусмотреть емкость/место для слива/хранения шлама. Если не наладить сбыт шлама в теплицы и для выращивания комнатных растений, то в холодное время года шлам будет накапливаться. За 4 месяца его накопится  $200 \cdot 30 \cdot 4 = 24000$  л или 24 куб.м. Можно выкопать яму соответствующего объема, укрепив стенки досками. Часть влаги будет просачиваться в почву, но эти стоки не представляют вреда, поскольку они обеззаражены и переработаны в биогазовой установке. Но жидкая фракция шлама также представляет собой ценное биоудобрение, поэтому, если его потери недопустимы, то имеет смысл забетонировать яму для биоудобрений и закрыть ее сверху для уменьшения потерь азота в результате хранения. Следует заметить, что потери азота при хранении у биоудобрений существенно ниже, чем такие же потери у переработанного навоза, поскольку в биоудобрениях азот наполовину находится в минерализованном виде.