## Алгоритм определения параметров биогазовой установки

Расчет биогазовой установки – важнейший элемент проектирования и всегда предваряет выбор технологии и тем более конструктивного исполнения оборудования. Прежде всего, требуется определить:

* тип процесса брожения (термофильный либо мезофильный);
* длительность брожения;
* организацию сбора биогаза;
* порядок заполнения метантенка;
* вариант организации теплоснабжения метантенка (резервуара);
* способ загрузки субстрата и удаления шлама.

А также произвести расчеты:

* суточного объема биомассы, предназначенной для сбраживания;
* суточного объема биомассы, включающей примеси;
* содержания сухого вещества в биомассе;
* содержания сухих органических веществ в биомассе;
* теоретического выхода [биогаза](http://biogaz-russia.ru/biogaz.html) при условии полного разложения субстрата;
* теоретического выхода биогаза при неполном сбраживании;
* проектируемого объема метантенка, рассчитанного на полную загрузку;
* количества теплоты, требуемой для нагрева ежесуточно загружаемой биомассы до необходимой температуры брожения;
* тепловых потерь [биогазовой станции](http://biogaz-russia.ru/biogazovye_stancii.html);
* необходимой энергии для перемешивания биомассы;
* суточной выработки биогазовым оборудованием полезной энергии;
* экономии условного топлива за счет выработанного биогаза.

В процессе проектирования биогазовых установок применяются эмпирические данные, полученные в лабораториях. Подобная информация подвергается обработке и группировке в специальные таблицы параметров технологических процессов. Но значение погрешности в таблицах может достигать 50 %. Поэтому спрогнозировать суточные показатели объемов и [состава получаемого биогаза](http://biogaz-russia.ru/sostav_biogaza.html) для проектируемого оборудования можно лишь с невысокой точностью. Наращивание точности расчета требует проведения собственного лабораторного эксперимента. Тем не менее, даже самые примитивные расчеты позволят оценить приблизительные параметры выхода биогаза.

В процессе проектирования ключевое значение имеет определение оптимального объема биомассы, загружаемой для переработки. При меньших объемах органического материала нарушается равновесие системы, при увеличенных загрузках наблюдается переокисление биологической массы, что обуславливает замедление выделения биогаза [1].

Расчет параметров биогазовой установки производится в следующей последовательности:

1. При определении объема загружаемой биомассы и выхода биогаза важно знать количество исходного сырья. Если рассматривать отходы животноводства, необходимо определить суточный выход навоза, загружаемого в метантенк [2]:

|  |  |
| --- | --- |
| $m\_{сут.эк}=N\_{ж}∙m\_{уд}, кг$, | (1) |

где $N\_{ж}$ – количество животных;

$m\_{уд}$ – удельный выход экскрементов в сутки.

Анализ элементов, содержащихся в навозе, свидетельствует, что в нем имеется: около 25–93 % воды, 13–17 % подстилки, 7–11 % корма, до 17 % грунтовой массы и иных примесей. Наличие этих компонентов оказывает воздействие на объемы сухих органических компонентов в субстрате, кроме того, объем воды определяет влажность биомассы. Для определения содержимого сухих компонентов, а также параметров влажности используют специальные таблицы и поправочные коэффициенты [1].

2. Суточный объем биомассы, включающей примеси, рассчитывается по формуле

|  |  |
| --- | --- |
| $m\_{сут.общ}=k\_{п}∙m\_{сут.эк}, кг$, | (2) |

где $k\_{п}$ – значение поправочного коэффициента (находится в диапазоне 1,3-1,6).

3. При определении объема метантенка необходимо оценить долю сухого вещества (СВ) в загружаемой биомассе [2]:

|  |  |
| --- | --- |
| $m\_{св}=m\_{сут.эк}∙(1-\frac{W\_{экс}\%}{100}), кг$, | (3) |

где $W\_{экс}\%$ – влажность массы экскрементов, %.

4. Доля содержания сухого органического вещества (СОВ) в биомассе:

|  |  |
| --- | --- |
| $m\_{сов}=m\_{св}∙\frac{Р\_{сов}\%}{100}, кг$, | (4) |

где $Р\_{сов}\%$ - содержание СОВ в биомассе, %.

Для получения более достоверных параметров содержания СОВ в биомассе требуется получить пробы сырья и выполнить анализ в лабораторных условиях.

5. Теоретический выход биогаза при условии полного разложения субстрата:

|  |  |
| --- | --- |
| $V\_{тп}=n\_{эк}∙m\_{сов}, м^{3}$, | (5) |

где $n\_{эк}$ - выход биогаза из 1 кг СОВ различного исходного материала, м3/кг.

6. Теоретический выход биогаза при неполном сбраживании:

|  |  |
| --- | --- |
| $V\_{тн}=V\_{тп}∙\frac{n\_{t}\%}{100}, м^{3}$, | (6) |

где $n\_{t}\%$ - уровень сбраживания биомассы (применяется в диапазоне 60-70%).

7. Если объем метантенка предварительно не определен, то определяется необходимый объем метантека $V\_{м}$ и объем загружаемой массы $V\_{пол.заг}$ по следующим формулам [2]:

|  |  |
| --- | --- |
| $V\_{м}=\frac{m\_{св}}{n\_{v}}, м^{3}$,  | (7) |

где $n\_{v}$ - рекомендуемый объем загрузки СВ в сутки, кг/м3.

Значение $V\_{м}$ необходимо согласовать с объемом полной загрузки метантенка:

|  |  |
| --- | --- |
| $V\_{пол.заг}=m\_{сут.эк}∙t\_{сут}∙\frac{1}{ρ\_{н}}, м^{3}$,  | (8) |

где $t\_{сут}$ - продолжительность процесса брожения, сут.;

$ρ\_{н}$ - удельная плотность сбраживаемой массы, кг/м3.

Объем метантенка должен соотноситься с объемом загружаемой биомассы:

- если $V\_{пол.заг}$ $\ll $ $V\_{м}$, то значительная часть метантенка использоваться не будет. Метантенк – наиболее капиталоемкий элемент биогазовой установки, и такой вариант будет менее эффективным;

- если $V\_{пол.заг}$ $=$ $V\_{м}$, могут возникнуть проблемы со сбором биогаза, так как пена, образующаяся в процессе брожения, будет забивать канал сбора биогаза;

- желательно, чтобы соотношение $V\_{пол.заг}$ $/$ $V\_{м}$составляло 0,7-0,9.

Если применяется стандартный метантенк, то останавливаются на ближайшем большем объеме его; если метантенк будет изготовляться индивидуально, то под объем $V\_{м}$ рассчитываются геометрические размеры. Рекомендуется выбирать метантенк цилиндрической формы. Для удобства сбора шлама и биогаза верхнюю и нижнюю части метантенка выполняют в виде усеченного конуса с горловиной в верхней части. Определяется способ перемешивания сбраживаемой массы (механическое перемешивание, барботаж).

8. Энергетические показатели биогазовой установки.

8.1. Определяют количество теплоты, необходимое для подогрева загружаемой массы до температуры процесса брожения в сутки:

|  |  |
| --- | --- |
| $Q\_{под}=m\_{сут.эк}∙С\_{с}∙(Т\_{ПР}-Т\_{ЗАГ})∙\frac{1}{η}, МДж$,  | (9) |

где $С\_{с}$ – теплоемкость субстрата, ($С\_{с}=4,18∙10^{-3} $МДж/(кг·°К);

$Т\_{ПР}$ – температура процесса брожения, °К (зависит от типов бродильных процессов: для мезофильного +32…+34°С, для термофильного +52…+54°С);

$Т\_{ЗАГ}$ – температура загружаемого субстрата, °К (равна либо температуре помещения, либо температуре окружающей среды);

$η$ – коэффициент полезного действия процесса.

8.2. Определяют количество теплоты, теряемое субстратом в результате теплоотдачи через стенку реактора в окружающую среду за час:

|  |  |
| --- | --- |
| $Q\_{пот}=k∙P∙(Т\_{ПР}-Т\_{СРЕДЫ}), Вт$,  | (10) |

где $k$– коэффициент теплоотдачи, Вт/(м2·°К);

$Т\_{СРЕДЫ}$ – температура окружающего воздуха, °К;

$P$– площадь поверхности теплообмена метантенка, м2.

Коэффициент теплоотдачи

|  |  |
| --- | --- |
| $k=\frac{1}{\frac{1}{α\_{1}}+\sum\_{i=1}^{n}\frac{δ\_{i}}{λ\_{i}}+\frac{1}{α\_{2}}}, Вт/(м2·°К)$,  | (11) |

где $\frac{1}{α\_{1}}$ и $\frac{1}{α\_{2}}$ – термическое сопротивление теплоотдачи от субстрата к внутренней поверхности стенки метантенка и от внешней поверхности теплоизоляции метантенка к окружающей среде соответственно;

$\sum\_{i=1}^{n}\frac{δ\_{i}}{λ\_{i}}$ – суммарное термическое сопротивление теплопроводности материала стенок метантенка $(\frac{δ\_{ст}}{λ\_{ст}})$ и теплоизоляции $(\frac{δ\_{из}}{λ\_{из}}).$

В расчетах учитывается каждый слой в многослойной теплоизоляции.

8.3. Определяют затраты энергии на перемешивание биомассы $Q\_{мех}$. На основании экспериментальных данных затраты энергии на перемешивание механическими мешалками можно принять равными 30…60 Вт/м3 при режиме: 4 ч работы и 7 ч паузы.

8.4. Определяют потребную энергию на поддержание процесса брожения за сутки, по сути на собственные нужды:

|  |  |
| --- | --- |
| $Q\_{общ}=Q\_{под}+24∙Q\_{пот}+Q\_{мех}, МДж/сут$.  | (12) |

В заключение определяется полезный выход биогаза. При этом определяется количество биогаза для продажи, за вычетом из общего объема биогаза на собственные нужды.

9. Определяют потенциальные запасы энергии биогаза, выработанного за сутки:

|  |  |
| --- | --- |
| $Q\_{выр}=V\_{тн}∙Н\_{б}, МДж/сут$,  | (13) |

где $Н\_{б}$ – теплотворная способность биогаза, МДж/м3.

10. Определяют полезную энергию от биогаза:

|  |  |
| --- | --- |
| $Э\_{б}=Q\_{выр}-Q\_{общ}, МДж/сут$.  | (13) |

11. Определяют коэффициент товарности биогазовой установки:

|  |  |
| --- | --- |
| $k\_{Т}=\frac{Q\_{выр}-Q\_{общ}}{Q\_{выр}}∙100\%$.  | (14) |

Принято считать, что биогазовые установки вырабатывают биогаз в течение 350 дней, еще 15 дней отводится на их профилактическое обслуживание.

12. Экономия условного топлива за счет выработанного биогаза определится как

|  |  |
| --- | --- |
| $Э=\frac{Э\_{б}∙350}{29,3}, МДж$.  | (15) |

где $Э\_{б}$ - выработка биогазовым оборудование полезной энергии, МДж.

13. На основе оценки энергетического эффекта биогазовой установки появляется возможно определить валовый потенциал энергии биогаза по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $W\_{БГУ}=\frac{Э\_{б}∙277,78}{1000}, кВт·ч/сут$.  | (16) |

Данный показатель отражает теоретический электрический потенциал энергии биогаза без учета КПД генерирующей установки (когенератора).

14. Валовый потенциал тепловой энергии биогаза:

|  |  |
| --- | --- |
| $Q\_{БГУ}=\frac{W\_{БГУ}∙0,86}{1000}, ГКалл/сут$.  | (17) |

15. Теоретический потенциал (средняя мощность), которую может поддерживать биогазовая установка на протяжении длительного времени исходя из биогазового потенциала животноводческого предприятия:

|  |  |
| --- | --- |
| $Р\_{СР}=\frac{W\_{БГУ}}{24}, кВт$.  | (18) |

Представленные выше показатели, отражающие теоретический валовый потенциал биогаза, можно привязать к конкретному животноводческому предприятию Красноярского края.

## Список литературы:

1. Проект биогазовой установки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://biogaz-russia.ru/proekt-biogazovojj-ustanovki/>
2. Шерьязов С.К., Пташкина-Гирина О.С. Использование возобновляемых источников энергии в сельском хозяйстве [Текст]: учебное пособие / С.К. Шерьязов, О.С. Пташкина-Гирина. – Челябинск: ЧГАА, 2013. – 280 с.