

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Кафедра «Теплотехника и теплосиловые установки»

УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

Методические указания
к курсовому проектированию

Санкт-Петербург
2017

Задание и рекомендации для курсовой работы

Выполнить расчет и подбор оборудования биогазовой станции для переработки отходов.

Целью расчета является определение основных параметров станции, которые обеспечат выработку необходимого количества биогаза. Исходя из требований потребителя, подбирается вспомогательное оборудование биогазовой станции.

Студент, согласно своему шифру, выбирает все необходимые для расчета данные из приложения. В некоторых вариантах исходные данные могут быть изменены преподавателем.

Перед выполнением курсовой работы необходимо ознакомиться с источниками, посвященными теме «Биогаз». Условия задания и исходные данные должны быть переписаны в пояснительную записку. Пояснительная записка выполняется на листах писчей бумаги размером 297×210 мм (на одной стороне листа). Она должна удовлетворять требованиям ГОСТ 2.106–68 «Текстовые документы». Листы пояснительной записки нумеруют, в конце записки помещается список использованной студентом литературы. При выполнении задания необходимо полностью записывать формулы и производить расчеты в развернутом виде, используя единицы измерений системы СИ. При использовании таблиц, графиков, номограмм, эмпирических формул и других справочных материалов следует приводить ссылку на литературный источник, из которого взяты эти данные.

Расчет параметров биогазовой станции ведется в последовательности, рекомендованной методическими указаниями, и заканчивается определениями основных параметров биогазовой станции с подбором необходимого вспомогательного оборудования.

1. Общие сведения о биогазовых станциях

Биогаз возникает при ферментации органических веществ, таких как навозная жижа, навоз, жидкое навозное удобрение, растения, пищевые отходы. Это происходит в природе повсюду, где нет доступа кислорода, например в болотах и топях.

Если органический материал складывается без доступа воздуха (анаэробно), то при воздействии связывающих метан бактерий (кокки, палочки, спирали, спирохеты, микоплазмы и нитевые бактерии) начинается биологический процесс, при котором образуется газ. Это и есть биогаз.

Анаэробные бактерии – это микроорганизмы, использующие кислород в минимальных количествах для своей жизнедеятельности.

Биогаз представляет собой газовую смесь, которая примерно на две трети состоит из метана (CH_4), на одну треть из диоксида углерода (CO_2), а также небольшого количества водорода (H_2), сероводорода (H_2S), аммиака и некоторых других примесей.

Биогазовыми установками называют установки, в которых в процессе анаэробного (при отсутствии кислорода) брожения органических веществ получают биогаз. Процесс основан на разложении под воздействием бактерий, принадлежащих к двум большим семействам асидогенов и метаногенов, в металлических емкостях без доступа воздуха при температуре $+35\dots+55^\circ\text{C}$.

На первом этапе анаэробного сбраживания органических веществ путем биохимического расщепления (гидролиза) сначала происходит разложение высокомолекулярных соединений (углеводов, жиров, белковых веществ) на низкомолекулярные органические соединения. На втором этапе, при участии кислотообразующих бактерий, происходит дальнейшее разложение с образованием органических кислот и их солей, а также спиртов, CO_2 и H_2 , а затем H_2S и NH_3 . Окончательное бактериальное преобразование органических веществ в CO_2 и CH_4 осуществляется на третьем этапе процесса (метановое брожение). Кроме того, из CO_2 и H_2 образуется в дальнейшем дополнительное количество CH_4 и H_2O .

2. Факторы, влияющие на процесс брожения

Температура. Метаболическая активность и репродуктивная способность микроорганизмов находятся в функциональной зависимости от температуры. Таким образом, температура влияет на объем газа, который можно получить из определенного количества органического вещества в течение заданного времени, а также на технологическое время процесса брожения, необходимое для высвобождения при соответствующей температуре определенного количества газа.

Содержание кислот, pH, буферные свойства. Поскольку метаболическая активность и уровень воспроизводства метановых бактерий ниже, чем кислотообразующих, при нарастании количества образующихся органических веществ может получиться избыток летучих кислот, который снижает активность метановых бактерий, как только значение pH опустится ниже 6,5. Обычно величина pH, благодаря буферным свойствам субстрата, при равномерном образовании кислот поддерживается на постоянном уровне. Эти свойства проявляются путем образования карбонатов в количествах, превышающих количество выделившегося при брожении CO_2 .

В качестве оптимальных значений могут быть названы:

- щелочность 1500...5000 мг CaCO_3 на 1 л субстрата;
- pH 6,5...7,5;
- содержание летучих кислот 600...1500 мг на 1 л субстрата.

Признаки нарушения процесса анаэробного сбраживания:

- снижение щелочности;
- уменьшение величины pH;
- увеличение доли CO_2 в выделяющемся газе;
- возрастание содержания летучих кислот;
- снижение выхода газа.

Ингибиторы. К веществам, слишком большая концентрация которых препятствует жизнедеятельности микроорганизмов, относятся прежде всего тяжелые металлы и их соли, щелочные металлы, щелочно-земельные металлы, аммиак, нитраты, сульфиды, детергенты, органические растворители, антибиотики.

Питательная среда. Предпосылкой беспрепятственного размножения бактерий служит наличие питательной среды, которая содержит как углерод и кислород для обеспечения этого процесса, водород, азот, серу и фосфор – для образования белка, так и щелочные металлы, железо и микроэлементы.

Активность микробной реакции в значительной мере определяется соотношением углерода и азота. Наиболее благоприятные условия соответствуют значениям $\text{C/N} = 10...16$.

Состав газа. Количество и состав газа, образующегося в результате полного разложения органического вещества, зависит от соотношения C:H:O:N в исходном материале и от температуры процесса брожения. Из важнейших соединений, входящих в состав органического вещества, жиры обуславливают наибольший выход газа с высоким содержанием CH_4 .

Концентрация твердых частиц. Предпосылкой высокой интенсивности реакции служит беспрепятственный обмен веществ на граничных поверхностях фаз, который должен поддерживаться непрерывным обновлением этих поверхностей благодаря перемешиванию субстрата. Однако это можно обеспечить только в том случае, если вязкость субстрата допускает свободу перемещения жидкости, взвешенных твердых частиц, в особенности бактерий, и пузырьков газа. Верхняя граница концентрации твердых частиц, при которой еще возможно свободное перемещение фаз, для субстрата с мелкодисперсной взвесью твердых веществ соответствует 10...12 %.

Основные технические элементы биогазового комплекса представлены на рис. 1.

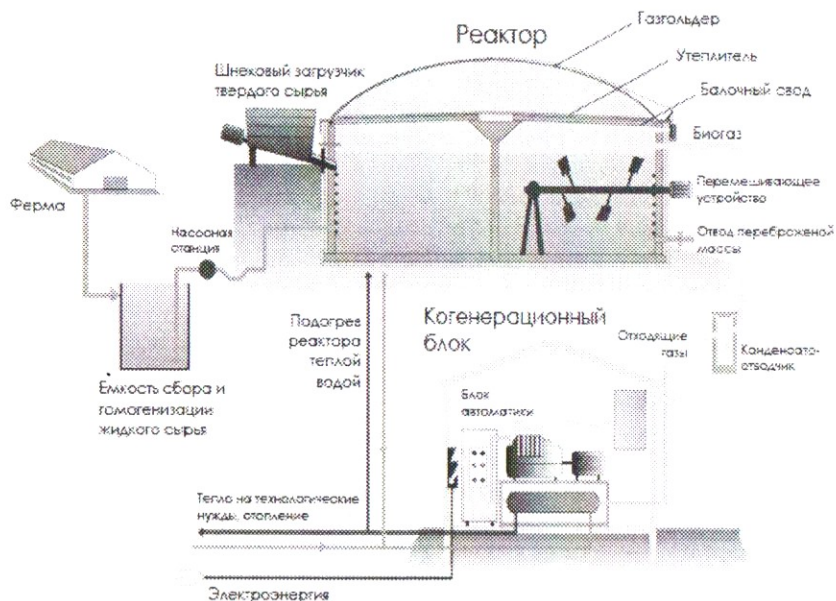


Рис. 1. Технические элементы биогазового завода

3. Расчет биогазовой станции

Расчет начинается с определения основных исходных данных. На основании вариантных значений приложения студент заполняет индивидуальную таблицу исходных данных.

3.1. Расчет склада для сырья

Подготовительный бак для навоза выполняется в виде вертикальной цилиндрической емкости из расчета возможного накопления отходов в течение 10 дней на случай очистки и ремонта метантенка. Необходимо также принимать во внимание коэффициент $f_{пр}$, учитывающий необходимый объем для оборудования и воздуха. Соотношение между высотой и диаметром подготовительного бака: $\frac{H_{пб}}{D_{пб}} \approx 2$. Объем подготовительного бака жидкого навоза:

$$\frac{H_{пб}}{D_{пб}} \approx 2. \text{ Объем подготовительного бака жидкого навоза:}$$

$$V_{пб} = \frac{M_{н} \cdot t_{бр}}{\rho} \cdot f_{пр}, \text{ м}^3,$$

где $t_{бр}$ – время брожения, дней;
 $f_{пр} = 1,25$;
 ρ – плотность массы, кг/м^3 ;
 M_n – дневной выход сырья, кг/день .

В подготовительный бак устанавливается перегонный насос из расчета возможности перекачки полного объема массы из метантенка за 5 часов. КПД насоса принимают не ниже 0,5, а рабочее давление – не ниже 0,1 МПа. Часовая производительность:

$$V_{ч} = \frac{V_{бр}}{t_{пер}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где $V_{бр}$ – объем биореактора, м^3 ;
 $t_{пер}$ – время перекачки полного объема биореактора, ч.
Мощность двигателя перегонного насоса:

$$N_{пер} = V_{ч} \cdot \frac{\Delta P}{\eta_{пер}}, \text{ кВт},$$

где ΔP – рабочее давление насоса;
 $\eta_{пер}$ – КПД насоса.

Объем склада для силоса $V_{скл}$ подбирается исходя из годового запаса сырья:

$$V_{скл} = \frac{M_c}{\rho_c}, \text{ м}^3,$$

где ρ_c – плотность силоса, $\rho_c = 300 \text{ кг/м}^3$;
 M_c – годовой выход сырья.

Силос загружается в специальный контейнер и загрузчиком подается в метантенк.

Высота сложенного стога травы не должна превышать 3,5 м.

Подача силоса осуществляется за счет двух загрузчиков производительностью $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ с двигателями мощностью не менее 5 кВт каждый.

3.2. Расчет метантенка

В качестве метантенка применяется вертикальный цилиндрический танк. Время пребывания исходного субстрата в реакторе составляет 30 дней.

При расчетах необходимо применить коэффициент $f_{пр}$, учитывающий требуемый объем для размещения оборудования и воздуха. Высота и диаметр метантенка соотносятся между собой как 1:2 ($H_{бр}:D_{бр}$).

Время опустошения биореактора принимается равным 5 часам, скорость потока в опорожняющей трубе – 5 м/с.

При объеме метантенка менее 500 м³ устанавливаются две мешалки, которые работают с периодичностью 5 мин/ч.

Рабочий объем метантенка определяется по формуле:

$$V_{бр} = \frac{M_{общ}}{\rho_{суб}} \cdot t_{бр} \cdot f_{пр}, \text{ м}^3.$$

По количеству ежедневно загружаемого органического сырья в метантенк установки делятся на малые: $V_{орг} = 1,5 \frac{\text{кг}_{орг}}{\text{м}^3 \cdot \text{день}}$, средние: $1,5 \frac{\text{кг}_{орг}}{\text{м}^3 \cdot \text{день}} < V_{орг} < 5 \frac{\text{кг}_{орг}}{\text{м}^3 \cdot \text{день}}$ и большие: $V_{орг} > \frac{\text{кг}_{орг}}{\text{м}^3 \cdot \text{день}}$;

$$V_{орг} = \frac{DM}{V_{бр}}, \frac{\text{кг}_{орг}}{\text{м}^3 \cdot \text{день}}.$$

Диаметр опорожняющей трубы:

$$D_{тр.оп} = \sqrt{\frac{V_{бр}}{t_{оп}} \cdot \frac{4}{\pi}} \cdot \frac{4}{\pi}, \text{ м}.$$

Мощность двигателя мешалки:

$$N_{меш} = 1,3 \cdot M_{меш} \cdot \rho_{суб} \cdot n_{меш}^3 \cdot D_{меш}^5, \text{ кВт},$$

где $M_{меш}$ – крутящий момент;

$n_{меш}$ – количество оборотов в минуту;

$D_{меш}$ – диаметр мешалки.

Расход электроэнергии на двигателях мешалок:

$$(N_{меш})_{общ} = n \cdot N_{меш} \cdot t_{пер}, \text{ кВт/ч}.$$

3.3. Расчет тепловых потерь метантенка

Для обеспечения процесса брожения в метантенке необходимо поддерживать температуру от 25 до 60 °С. Температура брожения биомассы и расчетная температура наружного воздуха указана в приложении по вариантам. Теплоемкость сырья принимается как $c_{\text{суб}} = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, первоначальная температура сырья – 20 °С. На рис. 2 показана схема сечения метантенка, где

- $D_{\text{в}}$ – внутренний диаметр метантенка;
- $D_{\text{н}}$ – наружный диаметр метантенка;
- $D_{\text{из}}$ – диаметр изолированного метантенка;
- $D_{\text{пок}}$ – диаметр метантенка, покрытого специальной оболочкой.

Скорость движения воздуха принимается равной 10 м/с.

Выполняются расчет и подбор оптимальной тепловой изоляции и ее толщины.

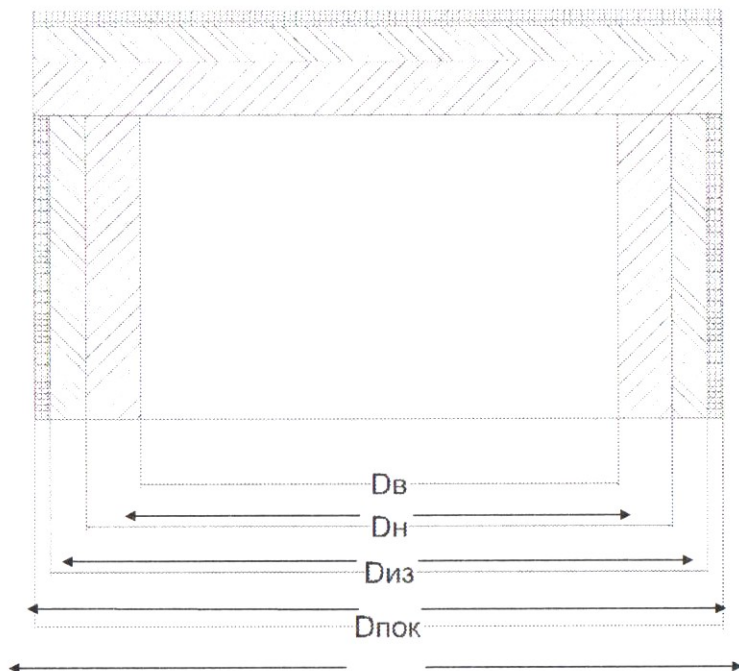


Рис. 2. Схема сечения метантенка

Теплообмен рассматривается для двух вариантов:

- вариант А – без тепловой изоляции корпуса метантенка;
- вариант Б – при наличии на корпусе метантенка изоляции.

Перенос теплоты от плоской крышки к воздуху соответствует частному случаю теплообмена – омыванию плоской горизонтальной стенки потоком жидкости. Характерный размер омываемой поверхности:

$$I_k = \frac{2 \cdot D_k}{\pi}, \text{ м.}$$

Значение числа Рейнольдса:

$$\text{Re}_k = \frac{w_{\text{воз}} \cdot I_k}{\nu_{\text{воз}}},$$

где $\nu_{\text{воз}}$ – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м²/с.

Критериальное уравнение для расчета числа Нуссельта имеет вид:

$$\text{Nu}_k = 0,032 \cdot \text{Re}_k^{0,8}.$$

Коэффициент теплоотдачи от крышки к воздуху:

$$\alpha_k = \frac{\text{Nu}_k \cdot \lambda_{\text{воз}}}{I_k},$$

где $\text{Nu}_k = \frac{\alpha_k \cdot I_k}{\lambda_{\text{воз}}}$ – число Нуссельта;

$\lambda_{\text{воз}}$ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/м·К.

Коэффициент теплопередачи через крышку метантенка:

$$K_k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k^{\text{COM}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{из}}}{\lambda_{\text{из}}} + \frac{\delta_{\text{пок}}}{\lambda_{\text{пок}}} + \frac{1}{\alpha_k}},$$

где α_k^{COM} – коэффициент теплоотдачи от сбраживаемой органической массы к крышке метантенка, $\alpha_k^{\text{COM}} = 1,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

Тепловой поток через крышку метантенка:

$$Q_k = \frac{K_k \cdot \pi \cdot D_k^2 (t_{\text{COM}} - t_{\text{ВОЗ}})}{4}, \text{ Вт,}$$

где t_{COM} – температура сбраживаемой органической массы, °С.

Теплообмен между поверхностью цилиндрической части метантенка и воздухом рассматривается как омывание потоком жидкости одиночного цилиндра. В качестве характерного размера $D_{\text{ц}}$ для разных вариантов принимали соответствующие диаметры метантенка.

Число Рейнольдса:

$$\text{Re}_k = \frac{w_{\text{ВОЗ}} \cdot D_{\text{ц}}}{\nu_{\text{ВОЗ}}}.$$

Число Нуссельта:

$$\text{Nu}_k = 0,22 \cdot \text{Re}_{\text{ц}}^{0,5}.$$

Рассчитывается коэффициент теплоотдачи от наружных поверхностей цилиндра к воздуху:

$$\alpha_{\text{ц}} = \frac{\text{Nu}_{\text{ц}} \cdot \lambda_{\text{ВОЗ}}}{D_{\text{ц}}}.$$

Коэффициент теплопередачи через цилиндрическую часть метантенка:

$$K_k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k^{\text{COM}}} + \frac{\delta_{\text{СТ}}}{\lambda_{\text{СТ}}} + \frac{\delta_{\text{ИЗ}}}{\lambda_{\text{ИЗ}}} + \frac{\delta_{\text{ПОК}}}{\lambda_{\text{ПОК}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{ц}}}},$$

где α_k^{COM} – коэффициент теплоотдачи сбраживаемой органической массы к стенкам метантенка, $\alpha_k^{\text{COM}} = 914,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$.

Тепловой поток через цилиндрическую часть метантенка:

$$Q_k = K_{\text{ц}} \cdot \pi \cdot D_{\text{ц}} (t_{\text{COM}} - t_{\text{ВОЗ}}).$$

Суммарный тепловой поток через ограждающие конструкции метантенка:

$$Q_{\text{мет}} = Q_{\text{к}} + Q_{\text{ц}}.$$

Основные результаты расчетов тепловых потерь для вариантов А и Б заносятся в таблицу. Дается обоснование выбора тепловой изоляции.

Количество тепловой энергии для подогрева исходной биомассы до температуры брожения:

$$Q_{\text{суб}} = M_{\text{общ}} \cdot c_{\text{суб}} \cdot (t_{\text{суб}} - t_{\text{нач}}),$$

где $t_{\text{нач}}$ – температура загружаемого в метантенк субстрата.

Необходимое количество тепловой энергии для обеспечения стабильного режима работы биогазовой установки:

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{мет}} + Q_{\text{суб}}.$$

Для подогрева биореактора используется горячая вода с параметрами на входе $t_{\text{вх}} = 70^\circ\text{C}$ и выходе $t_{\text{вых}} = 60^\circ\text{C}$.

Перепад между температурой исходного сырья и температурой биомассы в метантенке определяют по формуле:

$$\Delta t_{\text{тр}} = \frac{t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}}{2} - t_{\text{СОМ}}.$$

Требуемый объем теплоносителя вычисляется по формуле:

$$V_{\text{В}} = \frac{Q_{\text{общ}}}{c_{\text{суб}} \cdot \rho_{\text{суб}} \cdot (t_{\text{суб}} - t_{\text{нач}})}.$$

Диаметр греющих трубок:

$$D_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{V_{\text{В}}}{\vartheta_{\text{В}}} \cdot \frac{4}{\pi}},$$

где $\vartheta_{\text{В}}$ – скорость движения теплоносителя в греющих трубках.

Необходимая длина трубок:

$$L_{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{общ}}}{K_{\text{тр}} \cdot \Delta t_{\text{тр}} \cdot \pi \cdot D_{\text{тр}}},$$

где $K_{\text{тр}}$ – коэффициент теплоотдачи от поверхности греющих трубок к субстрату, Вт.

3.4. Расчет объема газгольдера

В качестве газгольдера применяются пластиковые емкости низкого давления. Соотношение между объемами метентенка и газгольдера $\left(\frac{V_{\text{бр}}}{V_{\text{г}}}\right)$ принимается, согласно варианту, по формуле:

$$V_{\text{г}} = \frac{V_{\text{бр}}}{\left(\frac{V_{\text{бр}}}{V_{\text{г}}}\right)}.$$

3.5. Расчет и подбор дизель-газогенератора

Биогазовая станция оснащается комбинированной тепловой установкой по выработке тепловой и электрической энергии, способной работать как на дизельном топливе, так и на биогазе.

Количество энергии, выделяемой при сгорании 1 м³ биогаза ($E_{\text{био}}$), принимается равным 6 кВт·ч/м³.

Для первого периода брожения биомассы до начала входа биогаза и на случай недостаточного количества вырабатываемого биогаза необходимо предусмотреть частичное замещение его дизельным топливом. Количество энергии, выделяемой при сгорании 1 кг дизельного топлива ($E_{\text{диз}}$), принимается равным 10 кВт·ч/кг.

Эффективность тепловой установки:

– электрический КПД ($\eta_{\text{эл}}$) – 30 %;

– тепловой КПД ($\eta_{\text{тепл}}$) – 50 %.

Плотность биогаза $\rho_{\text{био}} = 1,25$ кг.

Расчет количества вырабатываемого топлива:

$$M_{\text{био}} = V_{\text{био}} \cdot \rho_{\text{био}}, \text{ кг/день.}$$

Расчет количества вырабатываемой энергии:

$$E_{\text{общ}} = E_{\text{био}} \cdot V_{\text{био}} + E_{\text{диз}} \cdot V_{\text{диз}}, \text{ кВт};$$

$$E_{\text{эл}} = E_{\text{общ}} \cdot h_{\text{эл}}, \text{ кВт};$$

$$E_{\text{теп}} = E_{\text{общ}} \cdot h_{\text{тепл}}, \text{ кВт}.$$

Номинальная мощность двигателя принимается с учетом 30 % запаса по мощности.

3.6. Расчет бака для складирования сбродившей массы

Объем бака под сбродившую массу:

$$V_{\text{уд}} = \left(\frac{M_{\text{д}}}{\rho} - V_{\text{воз}} \right) \cdot t_{\text{уд}} \cdot f_{\text{воз}}, \text{ м}^3,$$

где $t_{\text{уд}}$ – время пребывания сбродившей массы в баке в холодное время года (дней);

$f_{\text{воз}}$ – коэффициент, учитывающий необходимый объем для размещения оборудования и воздуха, $f_{\text{воз}} = 1,1$;

$V_{\text{воз}}$ – доля возврата, $\text{м}^3/\text{день}$.

Соотношение высоты к диаметру бака должно удовлетворять условию:

$$H_{\text{уд}}/D_{\text{уд}} = 1/3.$$

4. Техничко-экономический расчет

4.1. Расчет капитальных затрат

Стоимость постройки 1 м^3 биореактора принимается в диапазоне от 22 500 до 37 500 руб.

Время работы биогазовой станции: $t_{\text{р}} = 8640 \text{ ч/год}$.

Стоимость подключения к электрическим сетям: $K_{\text{эл}} = 72 000 \text{ руб}$.

Капитальные вложения на постройку биореактора:

$$K_{\text{А}} = V_{\text{бр}} \cdot K_{\text{А1м}}.$$

Общее капиталовложение:

$$K = K_A \cdot K_{эл}.$$

Затраты на бетонные работы:

$$x_b = K_b / K_A = 0,63,$$

где $K_b = x_b \cdot K_A / t_b.$

Время эксплуатации конструкции $t_b = 20$ лет.

Затраты на техническое оборудование:

$$x_r = K_r / K_A = 0,37,$$

где $K_r = x_r \cdot K_A / t_r.$

Время амортизации $t_r = 10$ лет.

Дополнительные расходы:

$$z_R = 0,06 \cdot K.$$

Капитальные затраты в год:

$$K_p = K_b + K_r + Z_R.$$

4.2. Расчет затрат на биореактор

Общие электрические затраты в год:

$$K_S = N_{общ} \cdot K_{S_{эл}} \cdot t_p,$$

где $N_{общ}$ – суммарная мощность;
 $K_{S_{эл}}$ – стоимость электроэнергии.

Затраты на топливо:

$$K_O = M_{диз} \cdot K_r \cdot t_p.$$

Затраты на тепло:

$$K_W = Q_{общ} \cdot K_{W_T} \cdot t_p,$$

где K_{W_T} – стоимость тепловой энергии;
 $Q_{общ}$ – суммарная мощность.

Затраты на обслуживание полей:

$$K_R = A_n \cdot K_{R_n},$$

где A_n – площадь полей;

K_{R_n} – стоимость содержания полей.

Общие затраты на обслуживание биореактора:

$$K_{\text{обс}} = K_R + K_W + K_O + K_S.$$

4.3. Расчет операционных расходов

Коэффициент обслуживания бетона:

$$y_b = 0,5 \% \text{ от } (x_b \cdot K_A).$$

Коэффициент обслуживания оборудования:

$$y_e = 3 \% \text{ от } (x_e \cdot K_A).$$

Коэффициент обслуживания электричества:

$$y_{\text{эл}} = 4 \% \text{ от } K_{\text{эл}}.$$

Затраты на обслуживание:

– бетона:

$$K_x = y_b \cdot x_b \cdot K_A;$$

– оборудования:

$$K_y = y_e \cdot x_e \cdot K_A;$$

– электричества:

$$K_z = y_{\text{эл}} \cdot K_{\text{эл}}.$$

Затраты на рабочую силу:

$$K_p = K_{p_r} \cdot t_p,$$

где K_{p_r} – стоимость часа рабочей силы;

t_p – время работы = 500 ч/год.

Общие расходы на обслуживание:

$$K_{\text{общ}} = K_X + K_Y + K_Z + K_P.$$

Прочие расходы:

$$z = 0,5 \% \text{ от } K;$$

$$K_{\text{пр}} = z \cdot K.$$

4.4. Расчет окупаемости

Рассчитываемая установка отдает тепловую, электрическую энергию и производит удобрения.

Производимая электрическая энергия:

$$G = E_{\text{эл}} \cdot t_p \cdot K_{\text{в.эл}}.$$

Производимая тепловая энергия:

$$W = E_{\text{теп}} \cdot t_p \cdot K_{\text{в.т}}.$$


Общая прибыль:

$$K_{\text{приб}} = G + W + D.$$

Чистая прибыль:

$$K_{\text{ч}} = K_{\text{приб}} - K_{\text{общ}} - K_{\text{пр}} - K_{\text{обс}}.$$

Срок окупаемости:

$$t_{\text{ок}} = K/K_{\text{ч}}.$$


Библиографический список

1. Лукьянов А. Биогаз и биогазовые станции. Анализ и реализованные проекты / А. Лукьянов. – М., 2013. – URL : <http://portal-energo.ru/articles/details/id/700>.
2. Deublein D. Biogas from Waste and Renewable Resources / D. Deublein, A. Steinhauser. – 2-nd Ed. – Willey-VCH Verlag GmbH, Weinheim, 2011. – 550 p.
3. Чеботаева О. В. Теплообмен с окружающей средой метантенка для сбраживания биомассы / О. В. Чеботаева, В. А. Сербин, Н. В. Колосова // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2010. – № 6. – С. 86.
4. Волков А. И. Большой химический справочник / А. И. Волков, И. М. Жарский. – М. : Современная школа, 2005. – 608 с.
5. Григорьев В. А. Краткий справочник по теплообменным аппаратам / В. А. Григорьев. – М., 1962. – 256 с.
6. Коновалова Л. С. Теоретические основы теплотехники. Примеры и задачи / Л. С. Коновалова, Ю. А. Загромов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2001. – 116 с.
7. Крушвиц В. А. Инвестиционные расчеты : учебник для вузов / В. А. Крушвиц ; под общ. ред. В. В. Ковалева и З. А. Сабова ; пер. с нем. З. Сабова. – СПб. : Питер, 2001. – 409 с.
8. Баадер В. Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер ; пер. с нем. М. И. Серебряный. – М. : Колос 1982. – 148 с.

Исходные данные для проектирования

Описание	Единица измерения	Основной субстрат (жидкий навоз)			Биомасса		Доля возвращаемого остатка	Итого
		крупного рогатого скота	свиной	птиц	Силос кукурузы	Силос травы		
Количество животных	шт.							
Количество жидкого навоза с одного животного в день	м ³	0,05	0,05	0,05	-	-	-	-
Площадь для выращивания агрокультур	га	-	-	-				
Выход с гектара	т/га год	-	-	-	50	50	-	-
Выход за день (M _г)	т/день	7	5	1,5	32	35	28 %	-
Содержание сухого остатка (DM)	%							
Выход сухого вещества в день (DM)	кг/день							
Содержание органического сухого вещества в сухом остатке (оDM)	%	85	90	75	95	95	-	-
Выход органического сухого вещества (оDM)	кг _{орг} /день							
Удельный выход биогаза	м ³ /кг _{орг} .день	0,5	0,5	0,5	0,65	0,65	-	-
Объем вырабатываемого биогаза	м ³ /день							

№ варианта	Жидкий навоз крупного рогатого скота		Жидкий навоз свиней		Жидкий навоз птиц		Силос кукурузы		Силос травы		Температура брожения / температура наружного воздуха	Объем биореактора / объем газгольдера
	Количество животных	Количество животных	Количество животных	Количество животных	Количество животных	Количество животных	Площадь для агрокultur, га	Площадь для агрокultur, га	Площадь для агрокultur, га	Площадь для агрокultur, га		
1	40	10	0	0	0	0	0	0	0	0	35/-20	1:2
2	100	0	0	0	0	0	15	15	15	15	40/-20	1:1
3	75	20	0	0	0	0	0	0	0	0	50/-20	1:2
4	20	20	30	30	30	30	5	5	5	5	45/-20	1:1
5	65	50	0	0	0	0	10	10	10	10	35/-15	1:2
6	30	5	10	5	10	5	5	5	5	5	45/-15	1:2
7	50	50	0	0	0	0	15	15	10	10	50/-15	1:1
8	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55/-15	1:2
9	0	0	500	0	500	0	0	0	0	0	30/-30	1:1
10	0	200	0	0	0	0	20	20	10	10	45/-30	1:3
11	25	25	50	50	50	50	0	0	5	5	35/-30	1:1
12	20	10	20	20	20	20	15	15	20	20	40/-30	1:3
13	45	35	0	0	0	0	10	10	10	10	35/-25	1:1
14	0	0	0	0	0	0	50	50	25	25	50/-25	1:2
15	15	25	50	50	50	50	5	5	0	0	40/-25	1:2
16	85	40	0	0	0	0	5	5	5	5	50/-25	1:1
17	90	0	30	30	30	30	0	0	15	15	55/-10	1:2
18	30	30	300	300	300	300	0	0	0	0	30/-10	1:1
19	60	20	20	20	20	20	2	2	2	2	50/-10	1:3
20	15	15	50	50	50	50	8	8	3	3	40/-10	1:1
21	70	70	0	0	0	0	5	5	6	6	35/-5	1:3
22	0	50	120	120	120	120	0	0	0	0	45/-5	1:2
23	95	5	60	60	60	60	12	12	0	0	50/-5	1:1
24	10	20	20	20	20	20	3	3	3	3	30/-5	1:3
25	120	200	500	500	500	500	0	0	0	0	55/0	1:1
26	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	50/0	1:3
27	35	25	15	15	15	15	10	10	3	3	45/0	1:2
28	90	0	40	40	40	40	3	3	3	3	35/0	1:1
29	0	0	0	0	0	0	50	50	35	35	40/0	1:3

Учебное издание

УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

Методические указания
к курсовому проектированию

Составители: д. т. н., профессор Киселев И. Г.,
к. т. н., доцент Никольский Д. В.,
к. т. н. Лизунов Н. Ю.

Редактор и корректор *И. А. Шабранская*
Компьютерная верстка *Л. А. Картановой*

План 2015 г., № 167

Подписано в печать с оригинал-макета 23.03.2017.

Формат 60×84 1/16. Бумага для множ. апп. Печать ризография.

Усл. печ. л. 1,25. Тираж 100 экз.

Заказ 237.

ФГБОУ ВО ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.

Типография ФГБОУ ВО ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.