



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Инженерная защита окружающей среды»

Методические указания

«Расчет биогазовой установки»

по дисциплине «Лучшие зарубежные профессиональные практики»

для бакалавров направления 08.03.01 «Строительство»

профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Ростов-на-Дону

2023

Общие сведения

В настоящее время проблема энергосбережения становится приоритетным направлением в нашей стране. Одним из эффективных путей экономии в сельском хозяйстве дефицитного органического топлива является использование возобновляемых и вторичных энергоресурсов.

Как известно проблема энергосбережения тесно связана с проблемами энергетики, экономики и экологии.

Рассматривая нынешнее состояние Российской энергетики можно с уверенностью прогнозировать увеличение спроса на установки и устройства, которые используют не традиционные источники энергии.

Использование возобновляемых и вторичных ресурсов наиболее приоритетны в сельском хозяйстве, т.к энергетические установки на базе нетрадиционных источников – это не только путь к экономии органического и другого вида топлива, но и возможность обеспечения энергией в районах отдаленных от источников централизованного энергоснабжения. Экологически чистые возобновляемые источники вторичные источники энергии способствуют уменьшению загрязнения окружающей среды, а в некоторых случаях и очистки местности от продуктов жизнедеятельности как органического, так и животного происхождения, что значительно может помочь в утилизации кефалиевых остатков, так и удалением м полей старой соломы, не методом его выжига, что значительно может повысить урожайность в растениеводстве.

При этом получаемое дешевое топливо можно использовать не очищенном, так и из него производить другой вид топлива, например метанол из биогаза.

Также создавать газовые хранилища, где газ храниться в сжиженном состоянии и также может быть использован как топливо в двигателях внутреннего сгорания, что значительно позволит сэкономить во время уборочной компании в летнее время.

Кроме этого возможно создание парников в которых используется для отопления биогаз, а для удобрения перебродившая биомасса, при этом продукты питания будут экологически чистыми без химических удобрений.

Расчетная часть

Исходные данные

БГУ:

Всего голов $N_r=150$

3 – 5 лет – 50%

1,5 – 1 год – 20%

1 – 0,6 лет – 30 %

Температура брожения – 50 °С

Продолжительность брожения – 13сут.

Температура:

воды – 50 °С

биомассы – 16 °С

режим процесса – непрерывный

система теплоснабжения – газовая.

Расчет биогазовой установки

Суточный выход биомассы для сбраживания в метантенке определяется по формуле:

$$m_{\text{сут}} = \sum_1^n N_i \cdot m_j$$

где N_i количество животных определенной видовой и возрастной группы в ферме;

m_j – суточный выход навоза или помета от одного животного или птицы;

n – количество групп животных.

$$n = 3$$

$$N_1 = 150 \cdot 0,50 = 75 \text{ гол. } m_1 = 35 \text{ кг/сут}$$

$$N_2 = 150 \cdot 0,2 = 30 \text{ гол. } m_2 = 15 \text{ кг/сут}$$

$$N_3 = 150 \cdot 0,3 = 45 \text{ гол. } m_3 = 10 \text{ кг/сут}$$

$$m_{\text{сут}} = 75 \cdot 35 + 30 \cdot 15 + 45 \cdot 10 = 3525 \text{ кг/сут}$$

При ежедневной уборке чистого навоза его влажность доходит до 95%. Если уборка осуществляется периодически, то в навозе содержится 12–18% подстилки (опилки, сухой песок, солома); 12–30% остатки корма; 18–20% грунта и других примесей. Для приближенных расчетов содержание прочих примесей учитывается коэффициентом $K_{\Pi}=1,3-1,6$.

При этом в зависимости от температуры окружающей среды и содержания сухих примесей влажность отходов снижается на 10–15% (за 3–5 дней). С учетом коэффициента K_{Π} суточный выход навозной массы определяется по формуле:

$$m_{\text{сут}}^{\text{общ}} = K_{\Pi} \cdot m_{\text{сут}}$$

где K_{Π} – принимаем равным 1,5.

$$m_{\text{сут}}^{\text{общ}} = 1,5 \cdot 3525 \text{ кг/сут}$$

Масса сухого вещества в навозе $m_{\text{с.в.}}$:

$$m_{\text{с.в.}} = m_{\text{сут}}^{\text{общ}} \cdot \left(1 - \frac{W}{100}\right);$$

где $W\%$ – влажность навоза (для свежего навоза $W_{\text{св}}=90-95\%$; для навозной массы через 3–5 дневного сбора $W=80-85\%$; через неделю в бурте на открытом воздухе $W=65-70\%$)

Если принять $W_{\text{св}}=85\%$, тогда

$$m_{\text{с.в.}} = 5287,5 \cdot \left(1 - \frac{85}{100}\right) = 793,1 \text{ кг/сут}$$

Масса сухого органического вещества $m_{\text{сов}}$:

$$m_{c.o.s} = m_{c.s} \cdot \frac{P_{c.o.s.}}{100}$$

где $P_{c.o.s}$ – содержание сухого органического вещества; в навозе составляет 77–85%, если принять $P_{c.o.s}=80\%$, тогда

$$m_{c.o.s} = 7931 \cdot \frac{80}{100} = 634,5 \text{ кг/сут}$$

Выход биогаза при неполной продолжительности сбраживания, $V_{в.б.н.}$

$$V_{в.б.н.} = V_{пол.б.} \cdot \frac{n_1\%}{100}$$

$V_{пол.б.}$ – выход биогаза при полном сбраживании. n_1 – степень сбраживания субстрата, $n_1=60\text{--}70\%$.

Выход биогаза при полном сбраживании –

$$V_{пол.б.} = m_{c.o.s} \cdot n_{с.к} = 634,5 \cdot 0,315 = 200 \text{ м}^3.$$

$n_{с.к}$ – средний выход биогаза с 1 кг органического вещества $n_{с.к} \approx 0,315 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Выход биогаза при неполном сбраживании $V_{в.б.н.} = 200 \cdot \frac{70}{100} = 140 \text{ м}^3.$

Для брожения влажность доводим до 92%. Чтобы увеличить влажность биомассы на 1%, на одну тонну навоза надо добавить 100 литров воды. При доведении влажности ежесуточного общего выхода навоза с 85% до 92% вес массы навоза составит:

$$m_{сут}^{общ'} = 3525 + 3525 \cdot 0,7 = 6000 \text{ кг}$$

Объём метантенка при полной загрузке:

$$V_{p.n.z.} = \frac{m_{сут}^{общ}}{\rho_c} \tau_{сут} \cdot K_3 = \frac{6000}{1000} \cdot 13 \cdot 1,15 \approx 90 \text{ м}^3$$

принимаем один реактор объемом 90 м³

Тепловой расчет реактора.

Потеря теплоты в метантенке определяется по формуле:

$$Q_{т.р.} = Q_{п.} + Q_{о.с.} + Q_{мех.}$$

где $Q_{п.}$ – потери теплоты на подогрев биомассы при температуре брожения;

$Q_{о.с.}$ – потери теплоты в окружающую среду;

$Q_{мех.}$ – расход энергии на перемешивание биомассы в процессе брожения.

Количество теплоты, которая расходуется на подогрев биомассы загруженной на протяжении суток до температуры брожения, МДж/сутки, равно:

$$Q_{п.} = m_{сут}^{общ} \cdot C_c \cdot (t_{б.} - t_{з.м.}) = 86400$$

$m_{сут}$ – суточная загрузка биомассы доведенной до влажности 90–92%;

C_c – теплоемкость субстрата (принимается равной теплоемкости воды – $4,18 \cdot 10^{-3}$ МДж/(кг·К));

$$m_{сут}^{общ'} \cdot C_c \cdot t_{см} = m_{сут}^{общ} \cdot C_{б.} \cdot t_{б.} + m_{H_2O} \cdot C_{H_2O} \cdot t_{H_2O}, \text{ при } C_{б.} = C_{H_2O} = C_c$$

$$t_{см} = \frac{m_{сут}^{общ} \cdot t_{б.} + m_{H_2O} \cdot t_{H_2O}}{m_{сут}^{общ'}} = \frac{5287,5 \cdot 16 + 50 \cdot 712,5}{6000} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{п.} = 6000 \cdot 4,8 \cdot 10^{-3} \cdot (50 - 20) = 752,4 \text{ МДж/(кг·К·сут)}$$

Теплопотери от метантенка в окружающую среду, Вт, определяется по формуле:

$$Q_{o.c} = k \cdot F \cdot (t_b - t_{o.c}) \cdot 86400.$$

где k – коэффициент теплопередачи от биомассы находящейся в реакторе к окружающей среде, Вт/(м²•К).

F – площадь наружной поверхности реактора, м².

$t_{o.c}$ – температура окружающей среды, °С. ($t_{o.c} = 7,1$ °С)

t_b – температура биомассы, °С. ($t_b = 50$ °С)

Для цилиндрических реакторов, принимая отношение высоты к диаметру $H/D = 0,9 \dots 1,3$ по значению V_p можно найти F . принимая $H = 1,2D$ находим

$$F = (\pi D \cdot H) + \frac{2\pi D^2}{4} \quad ;;$$

$$F = 1,2\pi D \cdot H + \frac{2\pi D^2}{4} = \pi D^2 (1,2 + 1/2) = 1,7\pi D^2$$

$$V_p = \frac{\pi D^2}{4} H = 0,3\pi D^3 \Rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{V_p}{0,3\pi}}$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{90}{0,3 \cdot 3,14}} = 4,57 \text{ м}$$

$$H = 1,2 \cdot 4,57 = 5,5 \text{ м}$$

$$F = 1,7\pi D^2 = 1,7 \cdot 3,14 \cdot 4,57^2 = 111,5 \text{ м}^2$$

Коэффициент теплоотдачи от биомассы в реакторе к окружающей среде, Вт/(м²•К)

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n}};$$

α_v и α_n коэффициенты теплообмена на внутренней и наружной поверхностях метантенка, Вт/(м²•К). Учитывая, что скорость движения биомассы в процессе её механического перемешивания незначительна (0,5...1 м/мин) можно считать, что процесс теплообмена на внутренней поверхности метантенка происходит при условиях свободной конвекции. С небольшой погрешностью то же самое можно принять для теплоотдачи от наружной поверхности теплоизоляции к окружающей среде (в землю, воздух в закрытом помещении, теплоизоляционный слой и т.д.).

Определяем коэффициент теплоотдачи со стороны биомассы (или воды в водяной рубашке) по упрощенной формуле Нуссельта:

$$\alpha_1 = 1,15 \cdot \left(\frac{\lambda^3 \cdot \rho^2 \cdot r}{\mu \cdot \Delta t \cdot H} \right)^{1/4} = 1,15 \cdot \frac{B'}{(\Delta t \cdot H)^{1/4}},$$

где B' рассчитывается по приближенной формуле:

$$B' = 5700 + 56t_6 - 0,09t_6^2.$$

t_6 – температура биомассы в реакторе (или воды в системе обогрева).

$$\Delta t = t_6 - t_{ст1}.$$

Зная, что температура внутренней поверхности наружной обечайки реактора и биомассы (воды в системе обогрева) могут отличаться очень незначительно, температуру внутренней поверхности наружной обечайки $t_{ст1}$ принимаем $t_{ст1} = 49,5$ °С (при обогреве биомассы водяной рубашкой), $\Delta t = t_{ст1} - t_6 = 50,0 - 49,5 = 0,5$ °С. H – высота реактора рассчитанная выше ($H = 5,5$ м).

$$\text{Тогда: } B' = 5700 + 56 \cdot 50 - 0,09 \cdot 50^2 = 8275.$$

$$\alpha_1 = \frac{1,15 \cdot 8275}{(0,5 \cdot 5,5)^{0,25}} = 7390 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

После расчета B' и α_1 находим ориентировочную температуру стенки с наружной стороны (со стороны изоляции или земли).

$$t_{cm2} = t_{cm1} - \left[\frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \left(\frac{\delta}{\lambda} \right)_{загр} \right] \cdot q$$

Здесь — δ_{cm} — толщина стенки реактора. Для стальных реакторов $\delta_{cm} = 5 \text{ мм}$,

λ_{cm} — коэффициент теплопроводности материала, для стали $\lambda_{cm} = 40 \text{ ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$.

$(\delta/\lambda)_{загр}$ — коэффициент загрязненности поверхности. Для стальной поверхности покрытой битумом $(\delta/\lambda)_{загр} = 1/1500$.

q — тепловое напряжение или тепловой поток, $q = \alpha_1 \cdot \Delta t$.

Зная величины t_{cm1} , δ_{cm} , λ_{cm} , $(\delta/\lambda)_{загр}$ и q находим t_{cm2} .

$$q = \alpha_1 \cdot \Delta t = 7390 \cdot 0,5 = 3695 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

$$t_{cm2} = 50 - \left[\frac{0,005}{40} + \frac{1}{1500} \right] \cdot 3695 = 42,7 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для расчета коэффициента теплоотдачи от поверхности изоляции к наружному воздуху или земле α_2 необходимо знать температуру t_{cm3} . т.е. температуру наружной поверхности изоляции, что рассчитывается по формуле:

$$t_{cm3} = t_{cm2} - \frac{K}{\alpha_2} \cdot (t_{cm1} - t_{cm2})$$

Однако здесь необходимо знать искомую α_2 . Для приближенных расчетов при $t_{ст1} < 50^\circ\text{C}$ можно принять

$$t_{ст3} = t_{ст2} - \Delta t_{изол}$$

$\Delta t_{изол}$ – перепад температуры или тепловое сопротивление изоляции, который примерно составляет $\Delta t_{изол} = (0,9 \dots 0,95) t_{ст2}$.

$$\text{При } \Delta t_{изол} = 0,95 t_{ст2} = 0,95 \cdot 42,7 = 38,43^\circ\text{C}.$$

$$t_{ст3} = t_{ст2} - \Delta t_{изол} = 42,7 - 38,43 = 4,27^\circ\text{C}.$$

$$\dot{\alpha}_H = 9,3 + 0,465 t_{ст3} + 7\sqrt{V}$$

примем $V = 4 \text{ м/с}$ – скорость ветра

$$\dot{\alpha}_H = 9,3 + 0,465 \cdot 4,27 + 7\sqrt{4} = 25,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{7390} + \frac{1}{1500} + \frac{0,3}{0,06} + \frac{1}{25,3}} = 0,198 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$Q_{о.с} = 111,5 \cdot 0,198 \cdot (50 - 7,1) \cdot 86400 = 81,83 \cdot 10^6 \text{ Дж/сут} = 81,83 \text{ МДж/сут}$$

Расход энергии на перемешивание субстрата в метантенке определяют по формуле:

$$Q_{мех} = g_{норм} \cdot V_{р.п.з} \cdot t_z$$

где $g_{норм}$ – удельная нагрузка на механическую мешалку. В зависимости от размеров и угла наклона лопастей $g_{норм} = (50 \dots 80) \text{ Вт}/\text{м}^3 \cdot \text{час}$.

$$V_{р.п.з} – \text{объём реактора заполненный субстратом, м}^3. V_{р.п.з} = 90 \text{ м}^3;$$

t_z – продолжительность работы мешалки.

За сутки $t_z = t_z' \cdot n'$, где t_z' – продолжительность перемешивания за один раз, $t_z' = 3 - 5$ минут; n' – число перемешиваний, $n' = 6 - 12$ раз.

$$\text{Принимаем } t_z' = 5 \text{ мин, } n' = 12 \text{ получим } t_z = 5 \cdot 12 = 60 \text{ минут} = 1 \text{ час}.$$

$$Q_{мех} = 80 \cdot 90 \cdot 1 = 7200 \text{ Дж/сут} = 7,2 \text{ кДж/сут}$$

$$Q_{т.р.} = 752,4 + 81,83 + 0,0072 = 834,23 \text{ МДж/сут}$$

Тепловая энергия, получаемая из биогаза, выделившегося за сутки:

а) При полном брожении:

$$Q_{б.г} = V_{пол.б} \cdot Nu_{б.г}$$

где $V_{пол.б} = 200 \text{ м}^3/\text{сутки}$; $Nu_{б.г}$ – низшая теплота сгорания биогаза
 $Nu_{б.г} = 22\text{-}28 \text{ МДж/м}^3$.

$$Q_{б.г} = 200 \cdot 25 = 5000 \text{ МДж/сут}$$

б) При неполном брожении субстрата:

$$Q_{в.б.н.} = 140 \cdot 25 = 3500 \text{ МДж/сут}$$

Общая суточная выработка энергии БГУ, МДж.

$$E_{Б.г.у} = Q_{б.г} - Q_{т.м} = Q_{б.г} - (Q_{п} + Q_{о.с} + Q_{мех}).$$

$$E_{Б.г.у} = 3500 - 834,23 = 2665,77 \text{ МДж/сут}$$

КПД БГУ, в %-ах

$$K_{б.г.у} = \frac{E_{б.г.у}}{Q_{б.г}} \cdot 100\%$$

$$K_{б.г.у} = \frac{2665,77}{3500} \cdot 100 = 76,2\%$$

Считая, что БГУ в год останавливается на техническое обслуживание и ТР не более 20 дней, экономию условного топлива, за счет полученного в течение года биогаза, можно рассчитать по формуле:

$$B_{у.г} = \frac{E_{б.г.у} \cdot D_{р.г.}}{29,3}, \text{ кг}$$

$$B_{у.г} = \frac{2665,77 \cdot 345}{29,3} = 31389 \text{ кг} = 31,389 \text{ т}$$

Здесь $D_{р.г.}$ – дни работы БГУ в году, $D_{р.г.} = 345 \text{ дн.}$

Список литературы

1. Сибикин, Ю. Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. - М.: Кнорус, 2010. - 228 с.
2. Саплин Л.А., Шерязов С.К., и др. Энергоснабжение сельскохозяйственных потребителей с использованием возобновляемых источников. – Челябинск: ЧГАУ, 2000. – 194 с.
3. Ковалев, Д. А. Энергетический анализ системы аэробно-анаэробно-аэробной обработки навоза / Д. А. Ковалев, А. А. Ковалев, Ю. В. Караева, Н. А. Колесникова // Вестник ВИЭСХ. – 2017. – № 1(26). – С. 129-135.