

П. А. Скляр, Ю.В. Мельник, кандидаты технических наук, доценты

Государственный Аграрный Университет Молдовы, г. Кишинёв

Обоснование параметров комплексной биоэнергетической установки на возобновляемых источниках энергии

В работе обоснована необходимость применения энергосберегающих технологий и биоэнергетических установок в нейтрализации отходов сельскохозяйственного производства и предложен расчет основных параметров биогазовых установок. – Библиогр. 10.

параметры, биоэнергетическая установка, энергосберегающие технологии, отходы с/х производства

В агропромышленном комплексе большинства стран сложился комплекс серьезных проблем, основными из которых являются:

1. Экологическая – характеризующаяся накоплением больших объемов отходов сельскохозяйственного производства (навоза, навозных стоков, отходов перерабатывающих производств и др.), загрязняющих окружающую среду – воздух,

почву, воду. Наиболее опасными являются навоз и навозные стоки животноводческих предприятий, крестьянских и фермерских хозяйств, а также помёт птицефабрик. Их хранение требует значительных площадей, средств на сооружение и содержание навозохранилищ. Однако навозохранилища не являются гарантом в предотвращении утечек навозных масс и распространении их в воздушном бассейне, почве, в наземных водоёмах и подземных водах. Кроме этого биомасса при накоплении в открытых хранилищах выделяет метан – вызывающий парниковый эффект.

2. Энергетическая – связана с дефицитом природных энергоносителей (углеродного топлива) и электрической энергии особенно в сельской местности, стоимость которых приобрела тенденцию к постоянному росту, что отрицательно сказывается на всех сферах производства и цивилизованной жизни человека.

3. Проблема плодородия почвы – связана с устаревшими технологиями утилизации навоза, вследствие чего в почву запахивается низкокачественная органика с высоким уровнем запаха, содержанием семян сорных растений, содержанием азота, фосфора и калия в трудноусвояемой растениями форме. Такое органическое удобрение не обеспечивает накопление гумусного слоя в почве, не способствует формированию качественного структурно-агрегатного состояния почвы.

Перечисленные проблемы, независимо от уровня экономического развития стран и регионов, предстоит решать в первой половине XXI века. Опыт показывает, что наиболее эффективно осуществить решение изложенных проблем можно путём использования новейших технологий, конструкторских и эксплуатационных решений переработки отходов сельскохозяйственного производства.

Примером такого подхода могут служить энергосберегающие технологии переработки биомасс, которые позволяют решать одновременно ряд взаимоувязанных проблем [1, 2]:

1) экологическую – утилизацию отходов сельскохозяйственного производства без вредного воздействия на окружающую природу;

- 2) энергетическую – получение энергоносителей из биомассы;
- 3) агрохимическую – получение экологически чистых, высокоэффективных органических удобрений;
- 4) социальную - улучшение условий цивилизованной жизни особенно сельских жителей.

Анализ результатов использования энергосберегающих технологий на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) показывает, что наибольшую эффективность можно получить при использовании нескольких видов энергоисточников. Разработанная нами конструктивно-технологическая схема комплексной биоэнергетической (БЭУ) установки работает на использовании биомассы (навоз, навозные стоки, растительные отходы листостебельной массы с.х. культур) и солнечной энергии [3, 4]. Основой установки являются два модульных блока: биогазовый и гелиотермический.

Эффективность работы биогазового блока определяется суточным выходом биогаза и его химическим составом, которые зависят от ряда факторов, обеспечивающих стабильные условия протекания процесса метанового сбраживания биомассы [5]:

- 1) влажность биомассы должна быть не менее 85% при высокой концентрации азота (не менее 7 мг на 100 кг органического вещества), а концентрация ионов водорода в пределах $pH = 7,0 \dots 7,6$ при оптимальном соотношении $C : N = 0,06 \dots 0,1$;
- 2) предварительный подогрев биомассы до необходимой температуры в зависимости от режима работы (мезофильный или термофильный);
- 3) гомогенизированное состояние субстрата в метантенке;
- 4) своевременная доза загрузки биореактора свежей порцией субстрата с одновременной выгрузкой перебродившей массы;
- 5) постоянство температурного режима в метантенке ($32 \dots 36^\circ C$ – мезофильный режим, $50 \dots 55^\circ C$ – термофильный);
- 6) анаэробная среда и отсутствие света в метантенке.

Эффективность работы гелиотермического блока зависит от: продолжительности солнечного сияния и интенсивности солнечной радиации, конструктивных особенностей гелиоколлектора и собственных потерь тепла в системе.

Исходными данными для расчёта БЭУ являются:

1. Суточный выход навоза на предприятии;
2. Конкретная информация о технологических процессах, для которых будут использоваться биогаз и горячее водоснабжение от гелиотермического блока.

Основными элементами в блоке биогаза являются: резервуар – подогреватель, метантенк и газгольдер, параметры которых рассчитываются.

1. Объём резервуара для предварительного нагрева навозной массы:

$$V_{np} = \frac{M_{cym}}{\rho_n} \cdot t_o, \text{ м}^3 \quad (1)$$

где M_{cym} - масса суточного выхода (навоза) на предприятии, кг;

ρ_n - плотность навоза, кг/м^3 ; (для жидкого навоза КРС $\rho = 1010 \dots 1020 \text{ кг/м}^3$; свиного – $1050 \dots 1070 \text{ кг/м}^3$; куриного помёта $700 \dots 1005 \text{ кг/м}^3$; соломистого навоза КРС $\rho = 530 \dots 890 \text{ кг/м}^3$ при влажности $80 \dots 85\%$).

t_o - время отстоя навоза, сут (принимают $t = 1 \dots 2$ сут.).

2. Объём метантенка:

$$V_m = \frac{M_{cym}}{\rho_n \cdot q_{cym}} \cdot 100, \text{ м}^3 \quad (2)$$

где: $q_{сут}$ – суточная доза загрузки метантенка, обеспечивающая стабильный процесс метаногенеза, % ($q_{сут} = 4,5\%$ - при мезофильном режиме; $q_{сут} = 9...9,5\%$ - при термофильном режиме [6]).

3. Продолжительность сбраживания биомассы (Т) и суточная доза загрузки метантенка по объёму связаны соотношением [7]:

$$T = \frac{100}{q_{сут}}, \text{ суток} \quad (3)$$

4. Суточный выход биогаза:

$$V_{б.г}^{сут} = M_{сут} \cdot g, \text{ м}^3 \quad (4)$$

где g – выход биогаза с 1т перерабатываемого субстрата, $\text{м}^3/\text{т}$ [8]:

- навоз КРС – $g = 15 \dots 25 \text{ м}^3/\text{т}$; навоз свиней - $g = 15 \dots 25 \text{ м}^3/\text{т}$;

помёт птицы - $g = 40 \dots 50 \text{ м}^3/\text{т}$.

5. Объём газгольдера для сбора и хранения биогаза:

$$V_{г.г.} = \frac{V_{б.г.} \cdot t_{н.б.}}{24}, \text{ м}^3 \quad (5)$$

где: $t_{н.б.}$ – время накопления биогаза, ч, $t_{н.б.} = 16 \dots 18$ ч.

Конструктивные размеры резервуара, предварительного подогрева биомассы, метантенка и газгольдера определяются исходя из принимаемых геометрических форм их резервуаров.

6. Тепловая энергия суточного выхода биогаза:

$$Q_{сут} = M_{сут} \cdot C_{б.г.}, \text{ МДж} \quad (6)$$

где: $C_{б.г.} = 21 \dots 24 \text{ МДж}/\text{м}^3$ или $5,6 \dots 6,1 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}$ – теплотворная способность биогаза.

7. Расход теплоты на собственные нужды биогазового блока БЭУ (нагрев биомассы до температуры режима работы биореактора):

$$Q_{с.н.} = \frac{M_{сут} (t_2 \cdot t_1) \cdot C_n}{\rho \cdot \eta}, \text{ МДж} \quad (7)$$

где: t_1 и t_2 – температура навоза: до нагрева и после нагрева, $^{\circ}\text{C}$;

($t_1 = 8...12^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 32...36^{\circ}\text{C}$ при мезофильном режиме и $t_2 = 52...55^{\circ}\text{C}$ при термофильном режиме);

C_n – удельная теплоёмкость навоза, $\text{МДж}/\text{кг} \cdot \text{град.}$, $C_n = (1.16...4.06) \cdot 10^{-3} \text{ МДж}/\text{кг} \cdot \text{град. C}$)

η - кпд котельного агрегата; $\eta = 0,7 \dots 0,8$.

8. Объём биогаза потребляемый биогазовым блоком на собственные потребности БЭУ:

$$V_{Б.С.Н.} = \frac{Q_{с.н.}}{C_{б.г.}}, \text{ м}^3 \quad (8)$$

9. Коэффициент использования биогаза на собственные потребности БЭУ:

$$\eta_{б.с.н.} = \frac{V_{Б.С.Н.}}{V_{б.г.}^{сут}} \cdot 100, \% \quad (9)$$

10. Суточный выход товарного биогаза составляет:

$$V_{б.Т} = V_{б.г.}^{сут} - V_{Б.С.Н.}, \text{ м}^3 \quad (10)$$

Товарный биогаз при непосредственном его сжигании в котлах, теплогенераторах, газовых плитах превращается в тепловую энергию с КПД 70...90%. При использовании биогаза в дизельных электрогенераторах получают электрическую энергию в основном для местного использования. При этом КПД использования биогаза составляет только 25...30%.

Исходными данными для расчётов гелиотермического блока БЭУ являются: 1-суточная потребность предприятия в горячей воде ($Q_{г.в.}$) заданной температуры; 2-географическое место расположения установки.

11. Суточная тепловая нагрузка гелиотермического блока составляет:

$$C_{сут} = Q_{г.в.} \cdot \rho \cdot C_{\theta} \cdot (t_2 - t_1), \text{ МДж/сут.} \quad (11)$$

где $Q_{г.в.}$ – суточная потребность горячей воды, м³/сут.;

ρ – плотность воды, кг/м³;

C_{θ} – теплоемкость воды, Дж/кг·Град. C ($C_{\theta} = 4,19 \cdot 10^3$ Дж/кг·град. C);

t_1 и t_2 – температура воды до нагрева и после нагрева, ($t_1 = 16...18^{\circ}\text{C}$; $t_2 = 55...65^{\circ}\text{C}$).

12. Сезонная тепловая нагрузка блока:

$$C_{сез} = C_{сут} \cdot n, \text{ МДж} \quad (12)$$

где n – число дней гелиоработы блока в году.

13. Площадь поверхности гелиоприемника:

$$F_{г.п.} = \frac{C_{сез} \cdot \theta}{E \cdot R}, \text{ м}^2 \quad (13)$$

где E – приход солнечной энергии на горизонтальную поверхность гелиоприемника за период его работы по месяцам, МДж/м² [9];

R – коэффициент пересчета количества солнечной энергии с горизонтальной поверхности на наклонную (для сезонных систем горячего водоснабжения при оптимальном угле наклона гелиоприемника к горизонтальной поверхности рекомендуют принимать $R = 1,05$ [9]);

θ – безразмерный параметр, зависящий от сезонной нагрузки (f) гелиоприемника (при $f = 0,75$, $\theta = 1,58$ [9]).

Исходя из площади, выбирают геометрические размеры – длину L и ширину B . Так как площадь поверхности гелиоприемника может быть довольно большой, ее разделяют на отдельные секции.

14. Суточная производительность гелиоприемника:

$$W_{г.п.} = \frac{Q_{г.в.}}{F}, \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сут.} \quad (14)$$

15. Количество водонагревательных труб в гелиоприемнике:

$$Z = \frac{B}{b}, \text{ шт.} \quad (15)$$

где B – ширина гелиоприемника, м;

b – ширина поверхности нагрева для одной секции трубы с учетом теплоотдачи от нагревательной поверхности, м ($b = 0,13...0,1$ м [9]).

16. Внутренний диаметр трубы гелиоприемника определяется из уравнения пропускной способности трубы W_T :

$$W_T = \frac{\pi d^2}{4} \cdot V, \text{ м}^3/\text{с} \quad (16)$$

Откуда

$$d = 2\sqrt{\frac{W_T}{\pi V}}, \text{ м} \quad (17)$$

где W_T – секундная пропускная способность гелиоприемника, м³/с;

V – скорость движения воды в трубах коллектора гелиоприемника, м/с.

Пропускная способность коллектора гелиоприемника:

$$W_k = \frac{W_{\text{з.н.}} \cdot F_{\text{з.н.}}}{3600 \cdot T_{\text{сут}}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (18)$$

где $T_{\text{сут}}$ – время работы гелиоприемника течение светового дня, час.

17. Выбор длины труб гелиоприемника.

В гелиоприемнике трубы могут укладываться прямыми рядами и рядами типа «змеевик». При укладке прямыми рядами длина труб принимается следующим образом:

$$l_{\text{мп}} = L + 2l_1 + 2l_2, \text{ м} \quad (19)$$

где L – внутренняя длина рамы гелиоприемника, м;

l_1 – толщина стенок рамы гелиоприемника, м;

l_2 – размер выхода трубы из рамы гелиоприемника, м; $l_2 = 0,02 \dots 0,03\text{м}$.

Расчет длины трубы при укладке рядами типа «змеевик» изложен в статье [10].

Трубы для гелиоприемника выбираются тонкостенные, согласно ГОСТа.

18. Тепловая мощность плоского гелиоприемника определяется по формуле:

$$N_0 = F_{\text{з.н.}} \cdot [I_{\text{с.р.}} \cdot \eta - U_L(t_2 - t_1)], \text{ Вт} \quad (20)$$

где $F_{\text{з.н.}}$ – площадь поверхности гелиоприемника, м²;

$I_{\text{с.р.}}$ – плотность потока солнечной радиации, поступающей на поверхность гелиоприемника на данной географической широте, Вт/м²;

η – эффективный оптический КПД гелиоприемника; $\eta = 0,78$ [9];

U_L – полный коэффициент тепловых потерь гелиоприемника, Вт/м² · °С; ($U_L = 6 \dots 8$ [9]).

19. Ориентация гелиоприемника в пространстве.

Эффективность работы гелиоприемника помимо конструктивных особенностей и климатических условий (величины солнечной радиации, облачности, скорости ветра, температура окружающего воздуха) в значительной мере зависит от его ориентации в пространстве относительно солнца, а также от угла наклона рабочей поверхности к линии горизонта.

Наиболее выгодной является такая ориентация гелиоприемника, когда в полдень солнечные лучи падают перпендикулярно к его поперечной оси симметрии. Такое расположение соответствует строгой ориентации на юг. Допускается поворот до 15° на восток или запад. Поворот на больший угол снижает эффективность поглощения солнечной радиации рабочей поверхности гелиоприемника.

Наиболее благоприятным углом наклона гелиоприемника к линии горизонта, является такой угол, при котором солнечные лучи в полдень были бы перпендикулярны к рабочей поверхности. Однако положение солнца над линией горизонта в полдень в течение года не постоянно и в разные месяцы года различно. Менять положение гелиоприемника относительно положения солнца над линией горизонта в коллекторных системах не предусматривается. Поэтому необходимо выбрать такой средний угол наклона гелиоприемника, который позволял бы в различные времена года принимать максимальное количество солнечной энергии.

Установлено, что наиболее благоприятным углом наклона гелиоприемника к горизонту является угол географической широты (СШ) местности [9].

На основании проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Обоснована необходимость переработки отходов сельскохозяйственного производства на основе энергосберегающих технологий, обеспечивающих охрану окружающей природы, получение дополнительных энергоносителей и получение высококачественных органических удобрений.

2. Предложена методика расчета биоэнергетических установок работающих на использовании биомасс отходов сельскохозяйственного производства и энергии Солнца.

Список литературы

1. Реймерс Н.Ф. Охрана природы и окружающей среды. – М.: 1992. – 320 с.
2. Панцхава Е. С., Пожарнов В. А. И., Головков А.М., Черкашина Н.Ф. Биогазовые технологии и высококачественные органические удобрения. // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 3-й Международной научно-технической конференции. Часть 4.: ВИЭСХ, 2003. с. 241 – 244.
3. Скляр П. А., Мельник Ю. В. Комплексная биотепловая энергетическая установка на возобновляемых источниках энергии. Юбилейный сборник научных трудов, ГАУМ – Кишинев, 2000 – с. 142 – 146.
4. Скляр П. А., Побединский В.М., Дарадуда Н.И. Комплексное использование возобновляемых энергоисточников в Молдове. // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 3-й Международной научно-технической конференции. Часть 4. М.: ВИЭСХ, 2003. С. 308 – 314.
5. Баротфи И., Рафай П. Энергосберегающие технологии и агрегаты на животноводческих фермах. Перевод с венгерского. М.: Агропромиздат, 1988. – 228 с.
6. Ковалев А. А., Гриднев П. И. Использование отходов животноводства для получения биогаза. Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве. Научные труды. Том 64. М.: ВИЭСХ. с. 107 – 113.
7. Бродович К., Степпа М. Производство и использование биогаза. // Международный сельскохозяйственный журнал, 1983, №6. – 35 с.
8. Бойлс Д. Биоэнергия: технология, термодинамика, издержки М.: Агропромиздат, 1987. – 152с.
9. Харченко Н. В. Индустриальные солнечные установки. М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
10. Скляр П.А., Горобец В.Ф., Мельник Ю. В. Совершенствование конструкций солнечных водонагревателей. Научные труды, Т. 8, ГАУМ – Кишинев, 2000. с.103 – 108.

В работе обоснована необходимость применения энергосберегающих технологий и биоэнергетических установок в нейтрализации отходов сельскохозяйственного производства и предложен расчет основных параметров биогазовых установок. – Библиогр. 10.

In work is motivated need of the using keep energy technologies and biogas installations in neutralizations of agricultural production wastes and is offered the calculation main parameters of biogas installations.

Получено 25.09.05