

КОМПЛЕКСНЫЕ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ: ОБОСНОВАНИЕ И РАСЧЕТ

Петр А. Скляр

Государственный Аграрный Университет Молдовы, г. Кишинёв

В работе изложена сущность проблем сложившейся в АПК Молдовы, предложены направления их реализации; приведена конструктивно-технологическая схема комплексной биоэнергетической установки и методика ее расчета.

В агропромышленном комплексе Молдовы сложился комплекс серьёзных проблем, основными из которых являются:

Экологическая – характеризующаяся накоплением больших объёмов биомасс из отходов сельскохозяйственного производства (навоза, помета, растительной массы, 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 и средств на сооружение и содержание навозохранилищ. Однако навозохранилища не являются гарантом в предотвращении утечек навозных масс в почву и распространении их в воздушном бассейне. Кроме этого биомасса при накоплении в открытых хранилищах выделяет метан – вызывающий парниковый эффект.

Энергетическая – связана с дефицитом энергоносителей, особенно в сельской местности, стоимость которых приобрела тенденцию к постоянному росту, что отрицательно сказывается на всех сферах производства и цивилизованной жизни людей.

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

Перечисленные проблемы, предстоит решать в первой половине XXI века. Опыт показывает, что наиболее эффективно осуществить их решение 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 взаимосвязанных проблем [1, 2]:

1. экологическую – утилизацию отходов сельскохозяйственного производства без вреда на окружающую природу;
2. энергетическую – получение энергоносителей из биомассы;
3. агрохимическую – получение экологически чистых, высокоэффективных органических удобрений;
4. социальную – улучшение условий цивилизованной жизни людей, особенно сельских жителей.

Анализ результатов использования энергосберегающих технологий на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) показывает, что наибольшую эффективность можно получить при комплексном использовании нескольких видов энергоисточников. Нами разработана конструктивно-технологическая схема комплексной биоэнергетической установки (БЭУ) (рис. 1), работающая на использовании биомассы и солнечной энергии [3, 4]. Основой установки являются два модульных блока: биогазовый (I) и гелиотермический (II).

Эффективность работы биогазового блока характеризуется 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 90%, 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 углерода и азота ($C : N = 0,06 \dots 0,1$);
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;

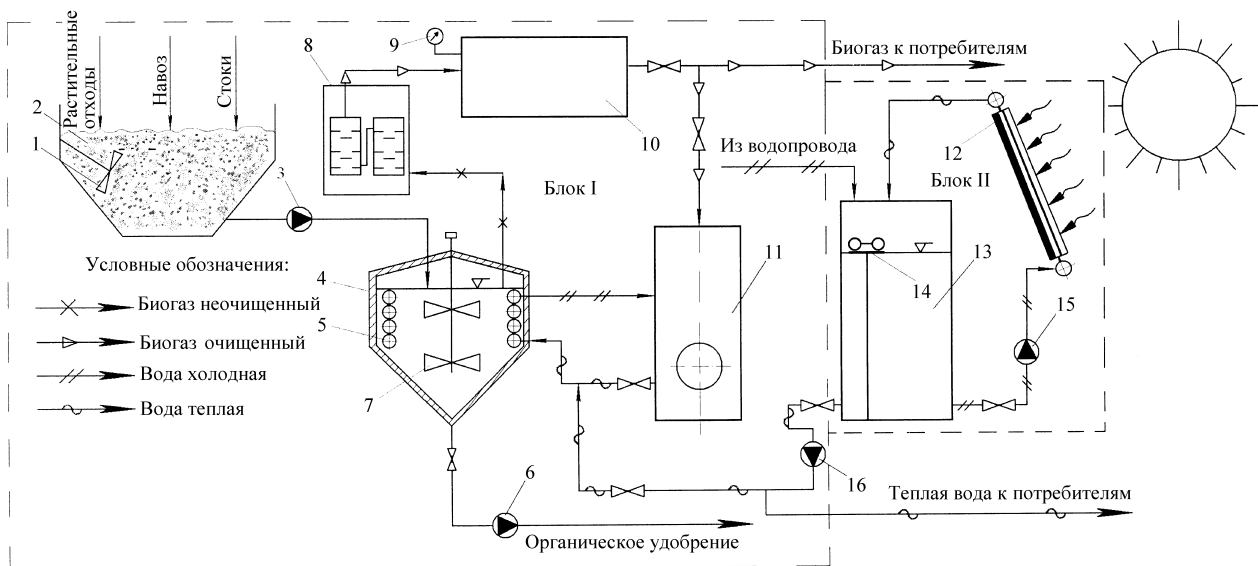


Рис. 1. Технологическая схема комплексной биоэнергетической установки:

Блок I – биогазовый: 1- мешалка механическая; 2 – резервуар приема биомассы; 3, 4 - насос фекальный; 5- метантенк (биореактор); 6- теплообменник; 7- мешалка-смеситель; 8- фильтр водяной; 9- манометр; 10- газгольдер.

Блок II - гелиотермический: 11- котел; 12- гелиоколлектор; 14- бак-аккумулятор; 15, 16 – насос водяной.

5. постоянство температурного режима в метантенке (32...36°C – мезофильный режим, 50...55°C – термофильный); допустимые отклонения температуры от заданной не должны превышать при мезофильном режиме $\pm 2,8^\circ \text{C}$, при термофильном $\pm 0,3^\circ \text{C}$.

6. анаэробная среда и отсутствие света в метантенке.

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

Исходными данными для расчёта БЭУ являются:

- суточный выход навоза на предприятии;
- конкретная информация о технологических процессах, для которых будут использоваться биогаз и горячее водоснабжение от гелиотермического блока.

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

1. Объём резервуара для предварительного нагрева навозной массы:

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

где $M_{сут}$ - масса суточного выхода навоза на предприятии, кг;

ρ_n - плотность навоза, кг/м^3 ; для жидкого навоза КРС $\rho = 1010...1020 \text{ кг/м}^3$; соломистого навоза КРС $\rho = 530 ... 890 \text{ кг/м}^3$ при влажности 80...85%); свиного 1050...1070 кг/м^3 ; куриного помёта 700...1005 кг/м^3 ;
 t_o - время отстоя навоза, в сутках, принимают $t = 1...2$ сутки.

2. Объём метантенка:

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

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 (T) и суточная доза загрузки метантенка по объёму связаны соотношением [7]:

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

4. Суточный выход биогаза:

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

где g - выход биогаза с 1т перерабатываемого субстрата, $\text{м}^3/\text{т}$; навоз КРС – $g = 15 ... 25 \text{ м}^3/\text{т}$; навоз

свиней - $g = 25 \dots 30 \text{ м}^3/\text{т}$; помёт птицы - $g = 40 \dots 50 \text{ м}^3/\text{т}$ [8]:

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

6. Тепловая энергия суточного выхода биогаза:

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

где $C_{б.г.} = 21 \dots 24 \text{ МДж/м}^3$ или $5,6 \dots 6,1 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^3$ – 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, °С; $t_1 = 8 \dots 12^\circ\text{С}$, $t_2 = 32 \dots 36^\circ\text{С}$ при мезофильном режиме; $t_2 = 52 \dots 55^\circ\text{С}$ при термофильном режиме; C_n – удельная теплоёмкость навоза, $\text{МДж/кг}\cdot^\circ\text{С}$, $C_n = (1,16 \dots 4,06) \cdot 10^{-3} \text{ МДж/кг}\cdot^\circ\text{С}$; η – КПД котельного агрегата; $\eta = 0,7 \dots 0,8$.

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

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

9. Коэффициент использования биогаза на собственные потребности БЭУ:

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

10. Суточный выход товарного биогаза составляет:

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

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

При этом КПД использования биогаза составляет 25...30%.

Исходными данными для расчётов гелиотермического блока БЭУ являются:

- суточная потребность предприятия в горячей воде ($Q_{кб}$) заданной температуры;

- географическое место расположения установки.

11. Суточная тепловая нагрузка гелиотермического блока составляет:

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

где $Q_{г.в.}$ – суточная потребность горячей воды, $\text{м}^3/\text{сут.}$;

ρ – плотность воды, кг/м^3 ;

$C_г$ – теплоёмкость воды, $\text{Дж/кг}\cdot^\circ\text{С}$;

$$C_г = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{С};$$

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

12. Сезонная тепловая нагрузка блока:

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

где n – число дней работы гелиотермического 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/м^2 [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 гелиоприемника – 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 ($b = 0,13 \dots 0,10$ м [9]).

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

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

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

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

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

Пропускная способность коллектора гелиоприемника:

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

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

17. Выбор длины труб гелиоприемника.

В гелиоприемнике трубы укладываются прямыми рядами и рядами типа «змеевик». При укладке прямыми рядами длина труб выбирается следующим образом:

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

где L – внутренняя длина рамы гелиоприемника, м;

l_1 – толщина стенок рамы гелиоприемника, м;

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

Расчет длины трубы при укладке рядами типа «змеевик» изложено в статье [10]. Трубы для гелиоприемника выбираются тонкостенные, согласно ГОСТа.

18. Тепловая мощность плоского гелиоприемника определяется по формуле:

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

где $I_{\text{с.р.}}$ – 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, температуры 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 поверхностью 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 различны. Менять положение гелиоприемника относительно положения Солнца над линией горизонта в коллекторных системах не предусматривается. Поэтому выбирается 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]. Для условий Молдовы он составляет 45 ... 48° СШ.

Выводы

1. Изложены проблемы и их сущность сложившиеся в агропромышленном комплексе Молдовы и предложены направления их реализации, путем использования новейших энергосберегающих технологий на основе возобновляющих источников энергии – биомассы и солнца.

2. Предложена конструктивно-технологическая схема комплексной биоэнергетической установки работающей на биомассе отходов сельскохозяйственного производства и энергии солнца.

3. Разработана методика расчета основных конструктивных, технологических и энергетических параметров комплексной биоэнергетической установки.

Библиография

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., Рафаи 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.

**Скляр Петр Антонович, 1942 г. рожд.,
доктор технических наук,
конференциар университетар.
Факультет Аграрной
инженерии и транспорта,
Государственный Аграрный
университет Молдовы**

