

#### 4. БИОГАЗОГЕНЕРАЦИЯ ГОРЮЧИХ ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ. ХРАНЕНИЕ БИОГАЗА В ГАЗГОЛЬДЕРАХ

Многие виды биомассы обладают достаточно высокой теплотворной способностью. Однако не всегда прямое сжигание биомассы целесообразно. Влажная биомасса требует специальной осушки для сжигания. При этом затраты на осушку могут быть выше, чем полученный эффект от сжигания биомассы. В связи с этим биомассу с достаточно высокой влажностью (более 60%) целесообразно подвергать анаэробному способу переработки в метантенках (биогазогенераторах). В результате этого не только исключается загрязнение окружающей среды и производится топливо (биогаз), но и получают высокоэффективные органические удобрения.

Схема биогазовой установки представлена на рис. 4.1. Сырье, содержащее 2–10% органических веществ, из отстойника 1 через теплообменник 2, где оно подогревается до температуры ферментации, подается в метантенк 3.

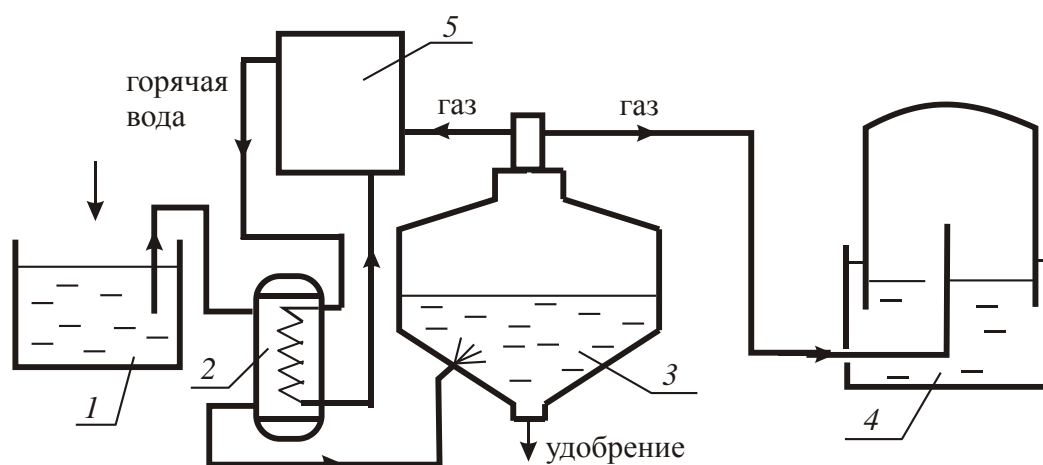


Рис. 4.1. Схема биогазовой установки

Образующиеся газы удаляются через газовый колпак, расположенный в верхней части метантенка. Газ по газопроводу поступает в котел 5 или в газохранилище – газгольдер 4. Из каждой тонны навоза выделяется в среднем  $50 \text{ м}^3$  биогаза.

Метановое брожение – процесс эндотермический, требует постоянного подогрева для поддержания необходимой температуры ферментации. Как правило, метантенки и сырье подогреваются за счет сжигания образующегося биогаза. В среднем на поддержание требуемой температуры ферментации расходуется от 15–20% (мезофильный процесс) до 30–50% (термофильный процесс) биогаза. Поэтому одним из важных моментов эксплуатации метантенков является их хорошая теплоизоляция.

Процесс брожения биомассы в метантенке идет достаточно долго. Сначала распадаются легкоразлагающиеся органические вещества с наибольшим

выходом биогаза, а затем начинают распадаться трудноразлагающиеся органические вещества с заметно меньшей скоростью выхода биогаза. Поэтому, исходя из экономических соображений, на практике время продолжительности процесса брожения выбирают равное времени разложения до 40–50% органических веществ (от 8 до 20 сут).

При внедрении метантенка определяют следующие параметры.

1. Объем навозоприемника:

$$V_n = k \cdot m_{\text{сут}} \cdot t_{\text{сб}} / \rho_n,$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий изменение плотности навоза, в зависимости от исходной влажности ( $k = 1,5$ );  $m_{\text{сут}}$  – суточный выход навоза с начальной влажностью  $\omega$  (около 92%), кг/сут;  $\omega = m_{\text{в}} / m_{\text{сут}} = (m_{\text{сут}} - m_{0\text{сут}}) / m_{\text{сут}}$ ,  $m_{0\text{сут}} = m_{\text{сут}} (1 - \omega)$  – суточный выход сухого сбраживаемого материала, кг/сут;  $\rho_n$  – плотность навоза, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_n = 1020$  кг/м<sup>3</sup>);  $t_{\text{сб}}$  – время накопления навоза, продолжительность сбраживания в метантенке (от 8 до 20 сут), сут.

2. Объем метантенка:

$$V_m = m_{0\text{сут}} \cdot t_{\text{сб}} \cdot \upsilon,$$

где  $\upsilon$  – удельный вес жидкой массы на 1 кг сухого сбраживаемого материала, 0,02 м<sup>3</sup>/кг.

3. Суточный выход биогаза:

$$B_6 = m_{0\text{сут}} \cdot b, \text{ м}^3/\text{сут},$$

где  $b$  – удельный выход биогаза, приходящийся на 1 кг переработанного навоза (от 0,2 до 0,4 м<sup>3</sup>/кг).

4. Общая тепловая энергия получаемого биогаза:

$$Q_{\text{общ}} = B_6 \cdot Q_6, \text{ МДж/сут},$$

где  $Q_6 = 20\text{--}25$  МДж/м<sup>3</sup> – теплота сгорания биогаза.

5. Расход теплоты на нагрев жидкой массы в метантенке с  $t_1 = 15^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 35^\circ\text{C}$  (мезофильный режим).

$$Q_n = c_n \cdot m_{0\text{сут}} \cdot \upsilon \cdot \rho_n (t_2 - t_1) / \eta, \text{ МДж/сут},$$

где  $c_n$  – теплоемкость жидкой массы ( $c_n = 0,00406$  МДж/(кг·°C));  $\eta$  – КПД нагревательного устройства ( $\eta = 0,7$ ).

6. Расход теплоты на собственные нужды:

$$Q_{\text{с.н}} = 1,06 Q_n, \text{ МДж/сут},$$

где 1,06 – коэффициент, учитывающий тепловые потери.

7. Общее количество биогаза, идущего на собственные нужды:

$$B_{\text{с.н}} = Q_{\text{с.н}} / Q_6, \text{ м}^3/\text{сут}.$$

8. Выход товарного биогаза:

$$B_{6,\text{т}} = B_6 - B_{\text{с.н}}, \text{ м}^3/\text{сут}.$$

9. Коэффициент расхода биогаза на собственные нужды (0,15–0,50):

$$\varphi_{\text{б}} = B_{\text{с.н.}} / B_{\text{б.}}$$

10. Объем газгольдера:

$$V_{\text{г}} = t_{\text{н.б}} \cdot B_{\text{б.т}}, \text{ м}^3,$$

где  $t_{\text{н.б}}$  – время накопления биогаза, сут.

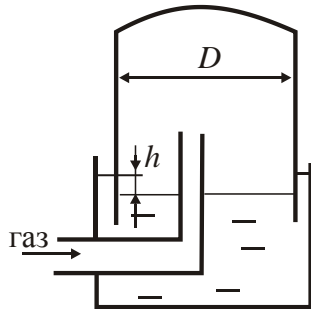


Рис. 4.2.  
Мокрый

Мокрые газгольдеры низкого давления имеют вместимость 500–3000 м<sup>3</sup> (рис. 4.2). Их недостаток – опасность замораживания зимой, что вызывает необходимость в их обогреве или применение незамерзающей жидкости. Достоинства – поддерживают постоянное давление, обусловленное весом колокола; простота и надежность.

Давление в газгольдере низкого давления определяется весом колокола или груза:

$$p = (mg) / S,$$

где  $m$ ,  $S$  – масса и площадь горизонтальной проекции колокола или груза соответственно.

Объем газгольдера определяется из уравнения Менделеева – Клапейрона:

$$V = mRT / p,$$

где  $m$  – масса биогаза;  $R$  – газовая постоянная биогаза;  $T$  – температура биогаза.

Перепад жидкости снаружи и под колоколом в мокром газгольдере определяется из основного уравнения гидростатики:

$$h = p / (\rho g).$$

### Задачи для практических занятий

#### Задача 4.1

В метантенке осуществляется сбраживание навоза из коровника с влажностью 92% и расходом  $40 + N$  кг/сут в течение 13 сут. При этом удельный выход биогаза  $b_{\text{уд}} = 0,4$  м<sup>3</sup>/кг из сухой биомассы. Теплота сгорания биогаза 24 МДж/м<sup>3</sup>. Нагрев жидкой массы в метантенке осуществляется с  $t_1 = 10 + 0,5 \cdot N$ °С до  $t_2 = 35$ °С (мезофильный режим). Определить требуемый рабочий объем метантенка и выход товарного биогаза.

#### Задача 4.2

Какой должен быть расход навоза в сутки с влажностью 85% для переработки в метантенке, чтобы обогреть коровник с потребностью в тепле  $20 + N$  МДж/сут. Сбраживание происходит в течение 15 сут. При этом

удельный выход биогаза  $b_{\text{уд}} = 0,3 \text{ м}^3/\text{кг}$  из сухой биомассы. Теплота сгорания биогаза  $24 \text{ МДж}/\text{м}^3$ . Нагрев жидкой массы в метантенке осуществляется с  $t_1 = 10 + 0,5 \cdot N^\circ\text{C}$  до  $t_2 = 35^\circ\text{C}$  (мезофильный режим). Определить требуемый рабочий объем метантенка.

### **Задача 4.3**

Газгольдер (рис. 4.2) содержит колокол диаметром  $D = 4 + 0,5 \cdot N$  (м), высотой 3 м. Определить массу колокола и закаченного в газгольдер газа, если перепад уровней воды в сосуде и под колоколом  $h = 150 + 5 \cdot N$  (мм). Газовая постоянная биогаза  $245 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , температура биогаза  $40^\circ\text{C}$ .