

---

---

## **Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності**

---

---

УДК 696.03

### **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА В ФЕРМЕРСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

*А.В. Яковенко  
В.А. Сербин, доц., канд. техн. наук  
(Донбасская национальная академия  
строительства и архитектуры)*

*Изучены возможности использования биогаза как альтернативы природного газа, используя переработку отходов сельского хозяйства. Предложена установка для образования биогаза (метаантенк), методика расчетов и основных габаритов ее, технология процессов работы устройства. Научно обоснована эффективность использования биогаза в фермерском хозяйстве.*

*Вивчені можливості використання біогазу як альтернативи природному газу при переробці відходів сільського господарства. Запропонована установка для зброджування біогазу (метантенк), методика розрахунків та основних її параметрів, технологія процесів роботи установки. Науково обґрунтована ефективність використання біогазу в сільському господарстві.*

*Possibilities of use of the biogas as alternative to the natural gas are studied on the bases of agricultural wastes reprocessing. The biogas fermentation installation (metantenk), its calculation methodology, main dimensions, and operation technology are proposed. The efficiency of the use of biogas in agriculture is scientifically substantiated.*

© А.В. Яковенко, В.А. Сербин, 2008

### **Формулировка проблемы**

Высокие темпы развития газовой промышленности обуславливаются высокими эксплуатационными показателями газообразного топлива и рядом его преимуществ по сравнению с другими видами топлива. Наметился рост доли газообразного топлива в общем балансе потребления органического топлива. Ежегодно на Украине потребляется 70—75 млрд м<sup>3</sup> природного газа [1].

Однако в настоящее время количество природного газа, добываемого на Украине, достаточно лишь для покрытия потребностей коммунально-бытового комплекса. Для покрытия нужд промышленного комплекса используется в основном импортное газообразное топливо. Однако в связи с ограниченными ресурсами органического топлива наблюдается рост цен на него, что влечёт за собой необходимость привлечения дополнительных средств для покупки топлива. Поэтому поиск способов покрытия дефицита природного газа в нашей стране актуален на сегодняшний день. Частично разрешить возникающую проблему можно путём внедрения и использования альтернативных и возобновляемых источников энергии (энергия солнца, ветровых потоков, геотермальных вод, биомассы, твёрдых бытовых отходов и т. п.), потенциал которых на Украине достаточно велик.

### **Анализ предыдущих исследований**

В качестве альтернативы природному газу может быть биогаз, который можно получить, организовав переработку отходов сельского хозяйства путём сбраживания в анаэробных условиях. Сырьём для получения биогаза могут служить как отходы животноводческих ферм, так и отходы разных растений. При этом выход и состав биогаза зависит от состава исходного сырья [2, 3].

Ежегодно на Украине образуется более 3 млн т сухого вещества, содержащегося в органических отходах, а потенциал биомассы составляет 6,754 млн т у. т. в год [4].

### **Цель и формулировка задачи исследования**

Целью данной работы является анализ возможности получения и использования альтернативного источника энергии, в качестве которого принят биогаз, на фермерском хозяйстве из отходов сельскохозяйственного производства.

### **Изложение основного материала исследования**

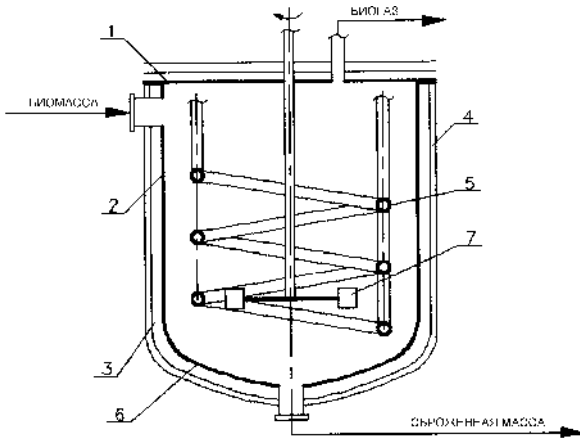
Анаэробное сбраживание биомассы осуществляется в герметически закрытых резервуарах — метантенках. В ДонНАСА разрабо-

## *Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності*

тана конструкция метантенка, принципиальная схема которого приведена на рис. 1.

Метантенк представляет собой герметичную цилиндрическую ёмкость 2 с овальным днищем 6. Метантенк оснащён патрубками подвода биомассы и отвода сброженной массы, а также патрубком отвода полученного биогаза. В конструкции предусматривается подогреватель 5, выполненный в виде змеевика, и турбинная мешалка 7, обеспечивающие подогрев сбраживаемой массы и стабилизацию выхода биогаза в метантенке. Для уменьшения тепловых потерь служит двухслойная тепловая изоляция 3 и 4.

Разработана методика определения количества биогаза, получаемого в процессе сбраживания биомассы, в зависимости от количества животных разных групп на ферме, состава кормов и подстилочных материалов и методика теплового расчёта процесса сбраживания, а также программа расчёта ориентировочных конструктивных габаритов метантенка. При расчёте габаритов метантенка программой предусматривается варьирование основных конструктивных размеров с учётом опыта эксплуатации аппаратов химического производства [5, 6].



*Рис. 1. Установка для сбраживания биомассы (метантенк)  
1 — крышка; 2 — корпус; 3, 4 — тепловая изоляция; 5 — подогреватель; 6 — днище; 7 — турбинная мешалка.*

Суточный объём получаемого биогаза,  $V_{\text{бр}}$ , м<sup>3</sup>/сут., определяется по формуле:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{бр}} &= \sum_{i=1}^n V_1 + \sum_{i=1}^n V_{ik} + \sum_{i=1}^n V_j = \\
 &= \sum_{i=1}^n n_1 \cdot m_{\text{с.в.}i} \cdot \sum_{i=1}^n r_1 \cdot n_i \cdot m_i \cdot (1 - w_i) \cdot V_{\text{уд.}i} + \\
 &+ \sum_{i=1}^n g_1 \cdot n_i \cdot m_i \cdot (1 - w_i) \cdot V_{\text{уд.}j}
 \end{aligned} \quad (1)$$

где  $V_i, V_{ik}, V_j$  — объёмы биогаза, который образуется при сбраживании соответственно навоза, отходов кормов и подстилочных материалов, м<sup>3</sup>/сут.;  $n_i$  — количество голов животных соответствующей группы, шт.;  $m_i$  — масса суточного выхода навоза на одну голову соответствующей группы, кг/сут.;  $m_{\text{св}i}$  — масса сухого вещества в навозе одного животного соответствующей группы, кг/сут.;  $w_i, w_j$  — влажность соответственного вида кормов и подстилочных материалов, доли;  $V_{\text{бр}i}, V_{\text{уд}i}, V_{\text{уд}j}$  — удельный выход биогаза соответственно из разных видов навоза, отходов кормов и подстилочных материалов, м<sup>3</sup>/кг<sub>с.в.</sub>;  $r_i$  — часть кормов от массы навоза, которая удаляется вместе с ним;  $g_i$  — часть подстилочных материалов, которая удаляется вместе с навозом.

Годовой объём получаемого биогаза,  $V_{\text{бр}}^{\text{год}}$ , м<sup>3</sup>/год, составит:

$$V_{\text{бр}}^{\text{год}} = V_{\text{бр}} \cdot \tau, \quad (2)$$

где  $\tau$  — время работы установки, сут./год.

Содержание метана в получаемом биогазе,  $C_{\text{CH}_4}$ , % об., определяется по формуле:

$$C_{\text{CH}_4} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot C_i + \sum_{i=1}^n V_{ik} + \sum_{i=1}^n V_j \cdot C_j}{\sum_{i=1}^n V_i + \sum_{i=1}^n V_{ik} + \sum_{i=1}^n V_j}, \quad (3)$$

## Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

где  $C_{it}$ ,  $C_{ik}$ ,  $C_j$  — концентрация метана в биогазе, полученного из  $i$ -го компонента навоза;  $i_k$ -го компонента кормов;  $j$ -го компонента подстилочного материала, %<sub>об.</sub>

Низшая теплота сгорания биогаза,  $Q_{н.бг}^p$ , МДж/м<sup>3</sup>, определяет-ся по формуле:

$$Q_{н.бг}^p = Q_{н.СН_4}^p \cdot C_{СН_4}, \quad (4)$$

где  $Q_{н.СН_4}^p = 33,8$  МДж/м<sup>3</sup> — низшая теплота сгорания метана.

На интенсивность процесса сбраживания и получение биогаза влияют четыре фактора:

1) биологический (состав сбраживаемой массы, условия жизнедеятельности микроорганизмов, состав микрофлоры);

2) физический (температура сбраживания, давление в метантенке, гидравлический режим);

3) химический (кислотность среды, объём и состав получаемого биогаза, содержание летучих жирных кислот);

4) организационно-технологические (доза суточной загрузки новых порций сбраживаемой массы, нагрузка по беззольному веществу, содержание в биомассе веществ, которые не подвергаются переработке).

Влияние этих факторов учитывается при введении исходных данных для программы расчёта. Так, предусматривается анаэробное сбраживание биомассы в мезофильном режиме, который, как это подтверждено многочисленными исследованиями и практикой эксплуатации установок, протекает наиболее интенсивно в температурном интервале 32°—42°С, поэтому температура сбраживания принята равной 40°С. При этом наиболее активно «работают» метаногенные бактерии с максимальным образованием биогаза. Однако отклонение от оптимального интервала температур на  $\pm 5^\circ\text{C}$  приводит к уменьшению выхода биогаза в 2—2,5 раза, что свидетельствует о чувствительности бактерий к температуре среды и требует выполнения мероприятий по её поддержанию. Для поддержания требуемого температурного режима в метантенке предусматривается отбор и последующее сжигание в котлоагрегате 40% получаемого биогаза. Для расчёта задаётся планируемая дли-

тельность сбраживания, влажность сбраживаемой массы (90—97%), а также свободный объём метантенка. Перемешивание биомассы в метантенке способствует интенсивному контакту микроорганизмов с питательными веществами, интенсифицирует удаление биогаза и предотвращает образование корки на поверхности, что приводит к увеличению образования биогаза. Большинство метантенков работают при давлении, незначительно превышающем атмосферное. Наиболее благоприятная кислотность среды для жизнедеятельности отличается для разных групп бактерий, поэтому оптимальным считается значение pH 4,5—7,5.

Используя разработанные методики и программы, выполнен расчёт основных габаритных размеров метантенка для группы фермерских хозяйств по откорму 1500 свиней. Для расчёта задаются следующие исходные данные:

Число голов:	
Крупный рогатый скот	0
Свиньи	1500
Домашняя птица	0
Сбраживаемая масса:	
Температура сбраживания (32...42°C)	40
Длительность сбраживания, суток	10
Плановая влажность сбраживаемой массы (90.. .97%)	95
Свободный объём метантенка (5...10%)	7
Соотношения габаритных размеров:	
Высоты цилиндрической части к внутреннему диаметру, $m_1 = H:D$ (1...1,25)	1,16
Глубины овального днища к внутреннему диаметру, $m_2 = h_0 :D$ (0,11...0,21)	0,16
Внутреннего диаметра корпуса к наружному диаметру мешалки, $m_3 = D:d_M$ (3...4)	3,5
Внутреннего диаметра мешалки к диаметру витков змеевика, $m_4 = D :D_{3M}$ (1,3...1,5)	1,4
Расстояния от нижнего среза мешалки до нижней точки днища к диаметру мешалки, $m_5 = h_M :d_M$ (0,4... 1,0)	0,7
Доля биогаза, используемая для работы котельной (0,3.. .0,4)	0,4
Время работы установки в году (не менее 340 суток)	350

## Розділ 2. Основи природокористування та безпека життєдіяльності

Для рассчитываемого количества животных получены следующие габаритные размеры метантенка:

Общий объём метантенка, $V$ , м <sup>3</sup>	244,79
Общий объём сбраживаемой массы, $V_{\Sigma}$ , м <sup>3</sup>	228,78
Диаметр метантенка, $D$ , мм	6575,4
Высота цилиндрической части метантенка, $H_{\text{цил.}}$ , мм	7047
Глубина овального днища, $h_{\text{д}}$ , мм	1052,1
Диаметр мешалки, $d_{\text{М}}$ , мм	1878,7
Диаметр змеевика, $D_{\text{зм}}$ , мм	4696,7
Расстояние от днища до мешалки, $h_{\text{М}}$ , мм	1315,1

Результаты расчета объема и качества биогаза приведены ниже

Общий выход биогаза, м <sup>3</sup> /год	211863
Выход товарного биогаза, м <sup>3</sup> /сут.	363,19
м <sup>3</sup> /год	127118
Содержание метана, % <sub>об.</sub>	- 65,01
Низшая теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>	21,97
Биогаз заменит:	94,04
условное топливо, т у. т.	
уголь, т/год	139,65
природный газ, м <sup>3</sup> /год	79801

Из приведенных данных следует, что ожидаемый выход биогаза при работе установки 350 суток в году в среднем составит  $1,27 \cdot 10^5$  м<sup>3</sup> при низшей теплоте сгорания около 22 МДж/м<sup>3</sup>. Содержание метана в биогазе 65%<sub>об.</sub>

Полученное топливо рекомендуется использовать непосредственно на ферме, обеспечив тем самым потребность в тепловой энергии — поддержание температурного режима сбраживания, технологические и бытовые нужды. При этом использование полученного биогаза может заменить около 80 тыс. м<sup>3</sup> природного газа в год, что эквивалентно 94 т у. т. При стоимости природного газа 906,5 грн. (178,5 \$) за 1000 м<sup>3</sup> это позволит сэкономить 72,5 тыс. Однако часть сэкономленных денежных средств потребуется затратить на организацию технологического процесса получения биогаза и эксплуатацию установки (подача биомассы, отвод сброженной массы, перемешивание биомассы в метантенке, циркуляция теплоносителя).

Используя данную установку и разработав технологическую схему, можно организовать получение альтернативного источника энергии — биогаза, на фермерском хозяйстве, используя его отходы. Отработавшую в метантенке биомассу целесообразно затем использовать в качестве обеззараженного высокоэффективного удобрения без специальной выдержки. Установлено, что использование такого удобрения повышает урожайность в сравнении с выдержанным на полигонах гноем на 10—20 % в зависимости от выращиваемой культуры [5].

### **Выводы и перспективы дальнейшего использования**

Предложены конструкция метантенка для сбраживания отходов сельскохозяйственного производства, методики расчёта основных габаритных размеров и технологических характеристик работы метантенка; полученные данные целесообразно использовать при разработке проектов метантенков для индивидуальных или групповых фермерских хозяйств.

\* \* \*

1. *Ковтун Г.* От метана к гелию // Регионал. — 2007. — №3(3). — 2007 — С. 50—59.
2. *Дубровский В.С., Виесту У.Э.* Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов. — Рига: Зинатна. — 1988. — 204 с.
3. *Матвеев Ю., Гелетуха Г.* Биогазова станція. Український досвід // Зелена енергетика. — 2004. — №1(13). — С. 4—5.
4. *Швец Я., Щербина О.* Тепло у вашому домі. — Львів: ЕКОінформ, 2003. — 174 с.
5. *Олексюк А.О., Сербін В.А., Радько Н.Ф.* Енергозбереження при використанні нетрадиційних джерел. — Донецьк: ДНЖКГ Держжитлокомунгоспу. — 2004. — 156 с.
6. *Васильцов Э.А., Ушаков В.Г.* Аппараты для перемешивания жидких сред. Справочное пособие. — Л.: Машиностроение. — 1979. — 272 с.

*Отримано 28.08.2008 р.*