

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра электроснабжения горных и промышленных предприятий

## **РАСЧЕТ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

Методические указания по выполнению практических работ  
по дисциплине «Возобновляемые источники энергии»  
для студентов специальности 140211 «Электроснабжение»  
всех форм обучения

Составитель Р.А. Храмцов

Утверждены на заседании кафедры  
Протокол № 8 от 1.04.2012

Рекомендованы к печати  
учебно-методической комиссией  
специальности 140211

Протокол № 9 от 11.04.2012  
Электронная копия находится  
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2012

## **1. Цель занятия**

Целью занятия является закрепление полученных теоретических знаний по дисциплине «Возобновляемые источники энергии», овладение методикой расчета биоэнергетических установок и определения возможности их использования на примере условий Кемеровской области. В методических указаниях по выполнению практических работ представлены варианты задач, методика расчета, приведены примеры решения. Данные, необходимые для решения задач, представлены в приложении.

## **2. Основные теоретические положения**

В последние годы значительно возросла заинтересованность к процессам производства биогаза. Это проявляется не только в возрастающем количестве планирующихся и строящихся биогазовых установок, но и в заинтересованности все большего числа фермеров, коммунальных хозяйств, предприятий, политиков и частных хозяйств, которые внимательно наблюдают за развитием этого сектора.

Энергетическая отрасль уже также не относится с такой осторожностью к децентрализации производства электроэнергии благодаря строительству биогазовых установок. Для пищевой промышленности, гастрономии, больших ресторанов, учреждений общественного питания и предприятий по переработке пищевых отходов технология производства биогаза предоставляет шанс дешевой утилизации органических отходов и остатков продуктов питания в биогазовых установках с пользой для сельского хозяйства. Эта технология завоевывает также все больше сторонников среди людей, лично убедившихся в ее пользе для окружающей среды.

Для фермеров биогазовые технологии приобретают все большее значение по следующим причинам: используя биогаз на своем предприятии можно не только сэкономить деньги, но и во многих случаях, можно также получить дополнительную прибыль на производстве электроэнергии и «побочных продуктов» биогазовой технологии. В первую очередь здесь имеется в виду уменьшение эмиссии неприятных запахов от жидкого и твердого

навоза, избежание потерь питательных веществ, экономя тем самым на минеральных удобрениях, уменьшение агрессивного влияния на растения при использовании навоза после биогазовой установки на полях, улучшение гомогенных свойств и возможность более легкого смешивания, перекачивания и распределения навоза.

Таким образом, возрастает спрос на информацию об этой старой и в то же время такой актуальной технологии производства биогаза. Тематические конференции, семинары, учебные поездки пользуются повышенным спросом, как и литература на эту тематику, и соответствующие специалисты. Вызвана эта ситуация следующими факторами:

- На биогазе могут работать двигатели мощностью от нескольких десятков до сотен киловатт. По сравнению с ними производство электроэнергии из древесины, соломы и других видов сухой биомассы имеет смысл лишь на мегаваттных (свыше 1000 кВт) установках с паровыми турбинами.

- Сегодня возможно строительство биогазовых установок дешевле и надежнее и таким образом рентабельнее, чем это было раньше. Здесь в первую очередь стоит назвать накопительные биогазовые установки с пленочным покрытием, но также улучшенные проточные и комбинированные установки. Значительное развитие пережили также комплектующие к установкам (мешалки, системы отопления, насосы, шнеки).

- Наличие наработок в отношении эксплуатации биогазовых установок, а соответственно и большое количество специалистов, занимающихся планированием и строительством установок.

- Все чаще практикуется коферментация – это переработка органических веществ несельскохозяйственного происхождения с добавлением жидкого или твердого навоза. Такая технология интересна как для фермеров, так и для пищевой промышленности и народного хозяйства. Это придает новые импульсы использованию технологии и улучшает рентабельность установок.

- Улучшение свойств удобрения как одного из побочных эффектов при производстве биогаза.

- Анаэробная переработка навоза в биогазовых установках является практически реализованной и предотвращает выбросы

метана и аммиака при переработке и хранении жидкого и твердого навоза. Фермеры, эксплуатирующие биогазовые установки, одновременно занимаются активной защитой окружающей среды и улучшают несколько подпортившийся в последнее время имидж сельского хозяйства.

Анаэробные процессы могут применяться для переработки ила, органических отходов, отходов от цехов по забою скота, отходов растительного происхождения и др.

Кроме обеззараживания, переработка органических отходов метановым сбраживанием обеспечивает получение локального энергоносителя – биогаза. Биогаз – это смесь 55...85 % метана и 20...45 % двуокиси углерода (табл. 1).

Таблица 1

## Сравнение биогаза с природным газом

Компонент	Единица измерения	Природный газ	Биогаз
CH <sub>4</sub>	%	85 – 95	55 – 85
CO <sub>2</sub>	%	< 1,0	20 – 45
N <sub>2</sub>	%	4 – 12	–
O <sub>2</sub>	%	< 0,5	–
H <sub>2</sub>	%	–	< 1,0
H <sub>2</sub> S	%	< 5	< 3
NH <sub>3</sub>	мг/м <sup>3</sup>	–	< 450
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	0,82	1,0 – 1,2
Калорийность	МДж/м <sup>3</sup>	32 – 35	21 – 28

По табл. 1 видно, что калорийность биогаза определяется концентрацией метана и составляет от 21 до 28 тыс. кДж/м<sup>3</sup>. Поэтому при концентрации метана свыше 60 % биогаз считается ценным топливом.

Биогаз может использоваться для сжигания в водогрейных котлах, в бытовых приборах, работающих на газе, в двигателях внутреннего сгорания, его можно накапливать в емкостях высокого давления или поставлять в сети природного газа.

Технических вариантов реализации метаногенеза биомассы достаточно много, начиная с конструктивно простых и заканчивая технологически совершенными установками долговременного непрерывного действия с использованием прогрессивных и автоматизированных систем.

Схема биогазовой энергетической установки (БГЭУ) для животноводческих комплексов и птицефабрик, адаптированная к условиям Сибирского региона, представлена на рис. 1.

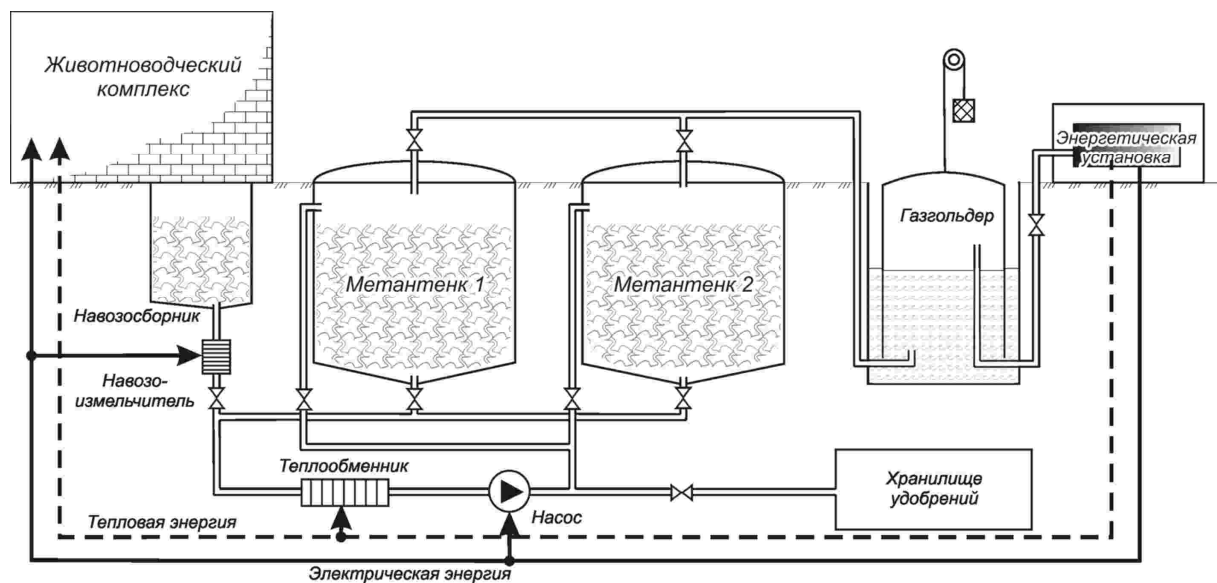


Рис. 1. Технологическая схема биогазовой установки

Работает БГЭУ следующим образом. Отходы жизнедеятельности животных (навоз, несъеденный корм, подстилка) в течение суток накапливаются в навозосборнике. Затем с помощью насоса закачиваются в метантенк. Навозная масса предварительно проходит через измельчитель, который перемалывает крупные фракции навоза, солому и другие волокнистые частицы, затем через теплообменник, где происходит подогрев навозной массы, и только потом попадает в метантенк (биореактор).

В метантенке навозная масса подвергается процессу метанового брожения, который может протекать при средних  $33...37\text{ }^{\circ}\text{C}$  (мезофильное) или высоких  $43...52\text{ }^{\circ}\text{C}$  (термофильное) температурах. Наибольшая производительность достигается при термофильном метановом брожении.

При перемешивании сбраживаемая масса проходит через теплообменник (рис. 1), где нагревается до необходимой температуры. Выбор такого способа нагрева обусловлен его эксплуатационной эффективностью.

Выделяющийся в процессе брожения газ по трубопроводу поступает в газгольдер для выравнивания колебаний в производительности БГЭУ (временные нарушения, аварии и т.п.) и для компенсации потребности газа в моменты пиковой нагрузки.

В качестве энергетической установки рекомендуется использовать газопоршневой двигатель когенераторного типа. Эти установки являются альтернативой привычным теплоэлектростанциям, но преимущество когенератора состоит в том, что преобразование энергии здесь происходит с наибольшей эффективностью. На каждый киловатт выработанной электрической энергии в когенераторных газопоршневых установках производится 1,2...1,3 кВт тепловой энергии; потери тепла в таких установках не превышают 10 %.

В качестве источника электрической энергии рекомендуется использовать асинхронный генератор, обладающий рядом преимуществ по сравнению с синхронным, т.е. меньшей стоимостью, простотой обслуживания и ремонта, стабильной работой при несимметричной нагрузке; нет необходимости в установке устройства защитного отключения; возможность параллельной работы как между собой, так и с синхронным генератором без дополнительных устройств и др.

Кроме этого, использование асинхронных генераторов в качестве источника электрической энергии дает возможность создавать установки БГЭУ для мелких фермерских хозяйств малой мощности 2,5...15 кВт.

Оценим эффективность использования БГЭУ в качестве резервного источника электрической энергии для животноводческих ферм КРС молочного направления на 480 голов.

Согласно представленной схеме БГЭУ на рис. 1 произведен расчет энергетического баланса системы автономного энергообеспечения животноводческой фермы крупного рогатого скота (КРС) за счет собственных энергетических ресурсов (табл. 2).

Таблица 2

**Энергетический баланс животноводческого комплекса КРС  
молочного направления при различном поголовье**

Поголовье	120	240	480
Объем навоза, т/сут	6,6	13,2	26,4
Объем метантенк, м <sup>3</sup>	2×44	2×88	4×88
Температура сбраживания, °С	37	37	37
Объем биогаза, м <sup>3</sup> /сут	198	396	792
Электрическая мощность БГЭУ, кВт·ч/сут	600,6	1212	2400
Тепловая мощность БГЭУ, кВт·ч /сут	774,8	1564	3143
Мощность генератора, кВт	25	50	100
Количество тепла на нужды БГЭУ, кВт·ч /сут	94,5	150	242
Потребность фермы в тепловой энергии, кВт·ч /сут	902	1804	3608
Температура содержания КРС, °С	18	18	18
Температура окружающей среды, °С	-15	-15	-15
Баланс тепловой мощности, кВт·ч /сут	-248,9	-390	-707
Потребление электроэнергии БГЭУ, кВт·ч/сут	48	72	90
Потребление электроэнергии на КРС, кВт·ч/сут	255,4	535	1088
Баланс электрической мощности, кВт·ч /сут	297,2	605	1222
Суммарный энергетический баланс, кВт·ч/сут	48,3	215	515

### 3. Выполняемое задание

Рассчитать объем биогазовой установки для фермерского хозяйства и выход биогаза при сбраживании навоза от животных. Процесс брожения – мезофильный, загрузка биомассы – из помещения с температурой  $t_{0.c} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определить потенциальный запас энергии биогаза и количество теплоты для поддержания процесса брожения биомассы в метантенке. Определить, какой объем природного газа, нефти и дизельного топлива может заменить полученный объем биогаза. Исходные данные для расчета по вариантам взять в приложении, табл. П.1.

#### 3.1. Методика расчета

1. Определяется выход навоза от каждого вида животных с учетом подстилки:

$$K_{\Pi i} = 1,5 M_{\text{сут}i} n, \text{ кг/сут}, \quad (1)$$

где 1,5 – коэффициент, учитывающий наличие подстилки;  $M_{\text{сут}i}$  – суточный выход навоза в зависимости от вида животных, кг/сут. (табл. П.2 приложения);  $n$  – количество голов.

2. Определяется суммарная доля сухого вещества (СВ) в навозе. Для каждого вида животных она равна

$$M_{\text{СВ}i} = K_{\Pi i}(1 - W), \text{ кг/сут}, \quad (2)$$

где  $W$  – влажность навоза, о.е. (табл. П.2).

3. Определяется объем метантенка БГЭУ при использовании навоза от соответствующего вида животных в сутки:

$$V_{\text{М}} = \frac{M_{\text{СВ}i}}{m_{\text{р}}}, \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (3)$$

где  $m_{\text{р}}$  – рекомендуемый объем загрузки СВ на  $1\text{ м}^3$  метантенка, кг/м<sup>3</sup> (из табл. П.2 берется большее значение для заданного вида животных).

4. Доля сухого органического вещества (СОВ) в навозе для каждого вида животных:

$$M_{\text{СОВ}i} = M_{\text{СВ}i} P, \text{ кг/сут}, \quad (4)$$

где  $P$  – доля СОВ в сухом веществе навоза (табл. П.2).



5. Выход биогаза при полном разложении сухого органического вещества (COB):

$$V_{Pi} = m_H M_{COB_i}, \text{ м}^3, \quad (5)$$

где  $m_H$  – выход биогаза из 1 кг COB в навозе, принимается равным 0,315...0,415 м<sup>3</sup>/кг.

6. Суммарный выход биогаза при сбраживании биомассы для данного объёма метантенка определяется

$$V_B = \sum(V_{Pi} m_{Bi}), \text{ м}^3, \quad (6)$$

где  $m_{Bi}$  – доля выхода биогаза от исходного материала при данной продолжительности метанового брожения (табл. П.2).

7. Определяется объём метантенка при полной загрузке:

$$V_{П.З.} = \frac{K_{П\Sigma} T}{\rho_H}, \text{ м}^3, \quad (7)$$

где  $K_{П\Sigma}$  – суммарное значение для всех видов животных;  $T$  – продолжительность брожения, сут (берется наибольшее из рассматриваемых видов животных);  $\rho_H$  – удельная плотность сбраживаемой массы. Так как влажность навоза обычно близка к 90 %,  $\rho_H$  принимают равной  $\rho_{\text{воды}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ .

8. Проверяется соответствие объёма метантенка его полной загрузке:

– если  $V_{П.З.} \ll V_M$ , значит, часть метантенка использоваться не будет, что экономически невыгодно.

– если  $V_{П.З.} = V_M$ , может возникнуть проблема из-за забивания канала сбора биогаза пеной.

Рекомендуемое соотношение  $V_{П.З.} / V_M = 0,7 \dots 0,9$ .

9. Потенциальный запас энергии биогаза, вырабатываемого в течение суток:

$$P_{\Theta} = V_B \cdot C_B, \text{ МДж}, \quad (8)$$

где  $C_B = 22 \text{ МДж/м}^3$  – теплотворная способность биогаза.

10. Определяется количество теплоты для поддержания режима брожения биомассы:

$$Q = K_{П\Sigma} \cdot C(t_B - t_3) \cdot \frac{1}{\eta}, \text{ МДж/сут}, \quad (9)$$

где  $K_{П\Sigma}$  – суммарный выход навоза от всех видов животных, кг/сут;  $C$  – средняя теплоемкость загружаемой биомассы, принимается равной  $4,18 \times 10^{-3} \text{ МДж/(кг} \times \text{K)}$ ;  $t_3$  – температура загрузки

жаемой массы, принимается равной температуре окружающей среды, °С;  $\eta$  – КПД процесса, в расчетах принимается равным 0,7.

11. Определить, какой объем природного газа, нефти и дизельного топлива может заменить полученный объем биогаза.

Энергия, заключенная в 1 м<sup>3</sup> биогаза, эквивалентна 0,6 м<sup>3</sup> природного газа, 0,74 м<sup>3</sup> нефти и 0,66 л дизельного топлива.

### 3.2. Пример расчета:

Исходные данные для расчета:

Вид животных: коровы – 20 гол.; свиньи – 10 гол.

1. Выход навоза с учетом подстилки:

– для коров:

$$K_{П1} = 1,5 \cdot M_{сут1} \cdot n = 1,5 \cdot 40 \cdot 20 = 1200 \text{ кг/сут};$$

– для свиней:

$$K_{П2} = 1,5 \cdot M_{сут2} \cdot n = 1,5 \cdot 2 \cdot 10 = 30 \text{ кг/сут.}$$

2. Суммарная доля сухого вещества:

– в навозе коров:

$$M_{СВ1} = K_{П1}(1 - W) = 1200(1 - 0,87) = 156 \text{ кг/сут};$$

– для свиней:

$$M_{СВ2} = K_{П2}(1 - W) = 30(1 - 0,9) = 3 \text{ кг/сут};$$

3. Объем метантенка БГЭУ для двух видов животных:

$$V_M = \frac{M_{СВi}}{m_p} = \frac{156 + 3}{6,0} = 26,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

4. Доля СОВ в навозе

– для коров:

$$M_{СОВ1} = M_{СВ1} \cdot P = 156 \cdot 0,8 = 124,8 \text{ кг/сут};$$

– для свиней:

$$M_{СОВ2} = M_{СВ2} \cdot P = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ кг/сут.}$$

5. Выход биогаза при полном разложении сухого органического вещества:

– для коров:

$$V_{П1} = m_H \cdot M_{СОВ1} = 0,365 \cdot 124,8 = 45,55 \text{ м}^3;$$

– для свиней:

$$V_{\text{П2}} = m_{\text{Н}} \cdot M_{\text{COB2}} = 0,365 \cdot 2,4 = 0,87 \text{ м}^3;$$

6. Суммарный выход биогаза при сбраживании:

$$V_{\text{Б}} = \Sigma(V_{\text{Пi}} \cdot m_{\text{Би}}) = 45,55 \cdot 0,4 + 0,87 \cdot 0,5 = 18,65 \text{ м}^3;$$

7. Объем метантенка при полной загрузке:

$$V_{\text{П.З.}} = \frac{K_{\text{П}\Sigma} \cdot T}{P_{\text{Н}}} = \frac{(1200 + 30) \cdot 17}{1000} = 20,9 \text{ м}^3.$$

8. Соотношение  $V_{\text{П.З.}} / V_{\text{М}} = 20,9 / 26,5 = 0,76$ , что соответствует рекомендуемой загрузке метантенка.

9. Потенциальный запас энергии биогаза, вырабатываемого в течение суток:

$$П_{\text{Э}} = V_{\text{Б}\Sigma} \cdot C_{\text{Б}} = 18,65 \cdot 22 = 410,3 \text{ МДж.}$$

10. Количество теплоты для поддержания режима брожения биомассы:

$$Q = K_{\text{П}\Sigma} \cdot C(t_{\text{Б}} - t_{\text{З}}) \cdot \frac{1}{\eta} =$$

$$= 1230 \cdot 4,18 \cdot 10^{-3} (32 - 15) \cdot 1,4 = 122,4 \text{ МДж / сут}$$

11. Эквивалент полученного объема биогаза другим видам топлива:

$V_{\text{Б}} = 18,65 \text{ м}^3 \approx 11,2 \text{ м}^3$  природного газа  $\approx 13,8 \text{ м}^3$  нефти  $\approx 12,3 \text{ л}$  дизельного топлива.

#### 4. Контрольные вопросы

1. Что называется биомассой?
2. Каковы основные источники потенциала биоэнергетики?
3. Какими способами можно получить электрическую энергию из биомассы?
4. В чем преимущества биомассы как топлива в отличии от ископаемого топлива?
5. Что такое биогаз?
6. Каковы преимущества и недостатки получения электроэнергии из биомассы?
7. Какова технология получения биогаза?
8. Что такое первичные и вторичные отходы?

9. Какова методика оценки валового потенциала энергии древесной биомассы?

10. Утилизация отходов лесного и сельскохозяйственного производства.

11. Назовите основные источники биомассы?

12. Назовите основные способы переработки биомассы?

13. В чём сущность анаэробного сбраживания?

14. Как работает установка для анаэробного сбраживания.

15. Какова эффективность анаэробной переработки навоза?

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Исходные данные для решения задачи

Номер варианта	Вид животных	Количество голов, $n$
0	коровы	30
	быки	10
1	свиньи	30
	коровы	20
2	телята	40
	свиньи	25
3	быки	0
	телята	20
4	коровы	20
	телята	15
5	быки	20
	свиньи	30
6	куры	200
	свиньи	50
7	быки	20
	коровы	20
8	куры	150
	быки	30
9	гуси	200
	свиньи	80

Таблица П.2

Исходные данные для расчета биогазовых установок

Вид животных	Влажность навоза $W$ , о.е.	Рекомендуемый объем загрузки $m_p$ , кг/м <sup>3</sup>	Доля СОВ в сухом веществе навоза $P$	Суточный выход навоза в сутки на одну голову $M_{\text{сут}}$ , кг/сут	Продолжительность брожения $T$ , сут	Доля выхода биогаза $m_B$
Быки	0,85 – 0,9	4,5	0,77 - 0,85	40	18	0,4
Коровы	0,85 - 0,9	6	0,77 - 0,85	40	17	0,4
Свиньи	0,88 - 0,92	3	0,77 - 0,84	2	12	0,5
Телята	0,86 - 0,9	5	0,77 - 0,80	10	16	0,48
Куры	0,73 - 0,76	1,5	0,76 - 0,77	0,2	30	0,55
Гуси	0,72 - 0,75	2	0,75 - 0,77	0,58	40	0,56
Утки	0,72 - 0,75	1,7	0,75 - 0,77	0,42	40	0,55

### Список использованной литературы

1. Сибикин, Ю. Д. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: учеб. издание / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – М.: ИП Радиософт, 2008. – 228 с.
2. Драганов, Б. Х. Использование возобновляемых и вторичных энергоресурсов в сельском хозяйстве. – Киев: Вища школа, 1988. – 56 с.
3. Биогазовые установки: практ. пособие [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.zorg-biogas.com>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Группа компаний Вирибалт [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.bio-energija.lt>, свободный. – Загл. с экрана.

Составитель

Храмцов Роман Анатольевич

## **РАСЧЕТ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

Методические указания по выполнению практических работ  
по дисциплине «Возобновляемые источники энергии»  
для студентов специальности 140211 «Электроснабжение»  
всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 29.06.2012. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе. Уч.-изд. л.0,8.

Тираж 26 экз. Заказ .

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Типография КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.