

## Комплексная биоэнергетическая установка

**М.Тыршу, Н.Константинов, М.Узун**

Институт энергетики АНМ, ул.Академическая 5, Кишинев, MD2028

e-mail: [mtirsu@ie.asm.md](mailto:mtirsu@ie.asm.md)

**Реферат.** Предложена технологическая схема комплексной биоэнергетической установке для производства электроэнергии, горячей воды и газа при использовании в качестве сырья навоза, птичьего помета и твердых органических отходов. Предложенное техническое решение обеспечивает практически 100% использование энергии сжигаемого газа за счет внедренной обратной связи между электростанцией и биореактором. Также, разработаны рекомендации для наилучшего использования установки в Республики Молдова.

**Ключевые слова** биогаз, биогазовая установка, производство биогаза, навоз и твердые органические отходы.

### Instalație complexă bioenergetică

**M.Țirșu, N.Constantin, M.Uzun**

Institutul de Energetică al AȘM, Chișinău, str. Academiei 5, MD2028

e-mail: [mtirsu@ie.asm.md](mailto:mtirsu@ie.asm.md)

**Rezumat.** În lucrarea dată este propusă schema tehnologică a instalației complexe bioenergetice destinată producerii energiei electrice, căldurii și apei calde, precum și a gazului la utilizarea în calitate de materie primă a bălîgarului, găinașului și altor deșeuri organice solide. Soluția tehnică propusă asigură practic utilizarea integrală (100%) a energiei gazului ars datorită introducerii legăturii inverse dintre stația electrică (generator diesel) și bioreactor. De asemenea sunt elaborate recomandări de utilizare mai eficientă a instalațiilor de biogaz în Republica Moldova.

**Cuvinte-cheie:** biogaz, instalație de biogaz, producerea biogazului, bălîgar, găinaș, deșeuri organice solide.

### Complex biopower installation

**M.Tirshu, N.Konstantinov, M.Uzun**

Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova, st. Academiei, 5, Chisinau, MD2028

e-mail: [mtirsu@ie.asm.md](mailto:mtirsu@ie.asm.md)

**Abstract.** It is presented the technological scheme of complex biopower installation for manufacture of the electric power, hot water and gas at use as raw material of manure, bird's dung and firm organic waste products. The suggested technical solution provides practically 100 % use of energy of burnt gas due to the introduced feedback between power station and a bioreactor. Recommendations for the best use of installation in Republics Moldova are developed as well.

**Key words:** biogas, biogas installation, biogas production, manure and firm organic waste products.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Биогаз является высококачественным и полноценным носителем энергии и может многосторонне использоваться как топливо в домашнем хозяйстве, в среднем и мелком предпринимательстве для приготовления пищи, производства электроэнергии, отопления жилых и производственных помещений, кипячения, сушки и охлаждения.

Особенно, если учитывать что Республика Молдова не имеет своих собственных энергоресурсов, а зависит практически на 100% от импорта, то является очень актуальным использовать как можно шире возобновляемые виды энергии. Республика Молдова является аграрной страной, поэтому располагает огромным запасом сырья необходимого для производства биогаза, за счет которого можно получить и электроэнергию и тепла, и горячей воды, и высококачественное удобрение и т.д. Тем более, что использование биогазовых установок имеет огромные экологические выгоды: уменьшение выброса в атмосферу метана (парниковый газ); уменьшение количества сжигаемого угля, дров или топлива для выработки электроэнергии, и как следствие уменьшение образуемого углекислого газа (парниковый газ) и вредных продуктов сгорания; уменьшение сброса в окружающую среду загрязненных вод; очищение загрязненных вод от органических веществ и микроорганизмов; сохранение леса от вырубки; уменьшение необходимости в химических удобрениях; очищение воздуха в доме и селе от продуктов сгорания угля;

уменьшение загрязнения воздуха азотистыми соединениями, дезодорирование воздуха [1-3].

В какой степени биогаз может заменить традиционное топливо, зависит от объёма и эффективности установки. Опыт других стран в использовании БГУ [4] показывает, что установка объёмом 8 куб. м., работающая на свином навозе может полностью заменить газ пропан, используемый для приготовления пищи в семье из пяти человек. БГУ объёмом 60 куб.м может использоваться для отопления жилого помещения площадью 200 кв.м и производственного помещения размером 400 кв.м.

В нашей стране существует множество малых и средних индивидуальных предприятий, которые занимаются производством свиней, коров, птиц, овец и т.д. А также, существуют более крупные производители, которые занимаются производством вина, пиво и т.д. И у тех и у других предпринимателей имеется огромное количество органических отходов, с которыми они не знают что делать. А с другой стороны, это является хорошим сырьем для производства биогаза и удобрения. Поэтому, если внедрить в широком масштабе использование биоустановок, то это приведет к снижению импорта энергоресурсов, и уменьшения выбросов в атмосферу. А также, решит проблему с избавлением от органического мусора.

В данной работе предлагается технологическая схема комплексной биоэнергетической установки имеющая улучшенные показатели по сравнению с другими установками [4] в области процента использования энергии выработанного газа, а также приводятся результаты анализа производства биогаза в зависимости от сырья и условиях сбраживания.

## **2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК В СФЕРЕ «МАЛОГО БИЗНЕСА»**

Анализ возможностей использования биоэнергетических установок в агропромышленном комплексе Молдовы в сфере «Малого бизнеса» показал значительное отличие вариантов использования биогаза, как в технологическом плане, так и в гибкости используемых видов энергии.

Так, например, использование биогазовой установки (БГУ) в крупных животноводческих и птицеводческих комплексах в первую очередь предусматривает решение таких экологических проблем как:

- накопление больших объемов биомасс загрязняющих окружающую среду, их безопасную переработку и получение сырья для производства витаминов и качественных удобрений;
- проблемы плодородия земель и других.

Использование биогазовых установок в сфере «Малого бизнеса» имеет целый ряд отличительных особенностей:

- ежесуточный выход биомассы в зависимости от конкретных объемов производства составляет от 0,5 до 1,0 м<sup>3</sup> в сутки;
- как правило «Малый бизнес» является, хоть и необъемной, но многопрофильной деятельностью.

Отсюда и требование к разносторонности видов энергии:

- водяное отопление производственных помещений и офиса;
- использование биогаза в пищеприготовлении и работе дизельной электрической станции;

- использование переработанной массы в качестве удобрений.

В результате выполнения исследований была разработана и сконструирована биогазовая установка для использования в сфере «малого бизнеса», которая представлена на рис.1.

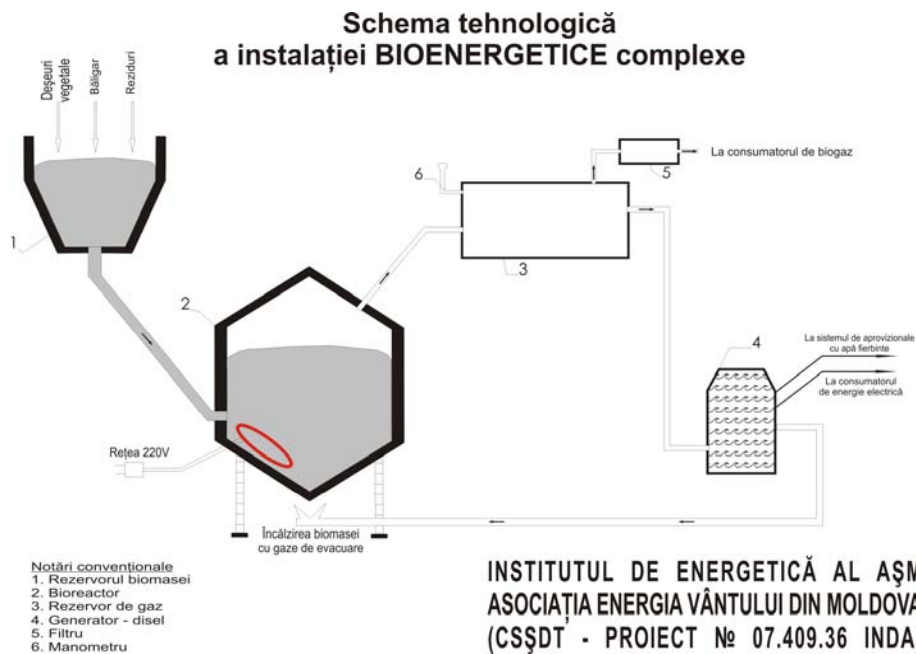


Рис.1. Технологическая схема комплексной биоэнергетической установки

Предложенная установка состоит из следующих частей: 1- резервуар приема биомассы, 2 – биореактор, газгольдер, дизель генератор, фильтр, указатель давления. Работает она следующим образом: В бункер 1 заливается сырье и доводится до нужной кондиции (влажность 90%). После этого подготовленная биомасса загружается в биореактор 2. Для улучшения процесса ферментации добавляется катализатор в определенных пропорциях и поддерживается мезофильный или термофильный режим. Выработанный газ накапливается в газгольдере 3. Отсюда он поступает на электрическую станцию 4 (в данном случае дизель генератор), который в нужное время производит электрическую энергию. Охлаждение ДВС осуществляется водой, которая используется потребителем для обогрева или других нужд. Электростанция имеет обратную связь с биореактором, который при работе поддерживает заданную температуру сбраживания. Параллельно газ из газгольдера через понижающий редуктор поступает на газовую плиту для приготовления пищи.

Основные отличия этой БГУ заключаются в следующем:

- небольшие габаритные размеры;
- технически реализован вариант подогрева биомассы двумя способами: термоэлектронагревательным элементом (ТЭН) и выхлопными газами работающей на биогазе дизельной электростанции (рис.1);
- наличие двух способов подогрева биомассы позволяет легко переводить БГУ в мезофильный (33-38<sup>0</sup>С) или в термофильный (53-60<sup>0</sup>С) режим.

Каждый из этих режимов имеет свои плюсы и минусы [3,5].

### **Мезофильный режим ферментации:**

#### **Плюсы**

- Производительность газа практически не снижается при отклонении температуры на 1-2<sup>0</sup>С от оптимума;
- Требуется меньше энергетических затрат на поддержание температуры.
- Продолжительность сбраживания субстрата -25-30 дней;

#### **Минусы**

- Выделение газа менее интенсивно;
- Биошлам полученный при данном режиме не является полностью стерильным.

### **Термофильный режим ферментации**

#### **Плюсы**

- Выделение газа интенсивнее;
- Требуется меньше времени до полного разложения субстрата - 12 дней;
- Биошлам полученный при данном режиме является полностью стерильным и поэтому его можно применять в качестве кормовых добавок животным.

#### **Минусы**

- Производительность газа значительно снижается при отклонении температуры на 1-2<sup>0</sup>С от оптимума;
- Требуется больше энергетических затрат на поддержание температуры.

Также, количество произведенного газа из 1 куб.м. зависит:

- от сырья. Сырьем для БГУ может быть навоз домашних животных, растительная масса и другие органические остатки. В зависимости от используемого субстрата, производительность биогаза варьирует. Примерные данные указаны в таблице №1.

Таблица №1. **Производительность биогаза в зависимости от используемого сырья за период ферментации**

<b>Сырье (субстрат)</b>	<b>Биогаз (м3 на м3 субстрата)</b>
Куриный помет	53,71
Конский навоз	40,60
Навоз КРС	32,40
Навоз КРС (свежий)	76,69
Овечий навоз	162,00
Свиной навоз	25,52

- от влажности загружаемого субстрата; Процесс брожения может происходить при влажности от 50% до 95%, однако учеными доказано для животноводческих отходов процесс метанообразования оптимально протекает при влажности сырья от 90-95% .

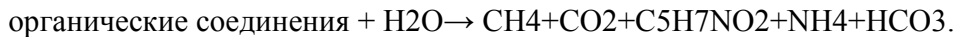
- от времени пребывания субстрата в реакторе; Оптимальное время пребывания субстрата в реакторе различается в зависимости от рабочей температуры и вида сбраживаемого сырья. При мезофильном режиме ферментации -25- 30 дней, при термофильном - 10-15дней.

Еще одна особенность использования БГУ в сфере «Малого бизнеса» заключается в том, что система водяного охлаждения дизельной электростанции, работающей на биогазе,

подключена к системе отопления офиса (рис.1). Таким образом, достигается полное использование энергии сжигаемого газа (режим когенерации).

### 3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

Биогаз – это газ, который получается в результате метанового сбраживания [2]. Метановое брожение по другому называется анаэробным брожением и как результат получаем:



Нерастворимые органические вещества (белки, углеводы, жиры), которые присутствуют в биомассе, начинают распадаться на простейшие органические соединения (аминокислоты, сахара, жирные кислоты). Эта стадия называется – гидролизом и протекает под воздействием ацидогенных бактерий. На второй стадии происходит гидролизное окисление части простейших органических соединений под воздействием гетероацетогенных бактерий, в результате которой получается ацетат, двуокись углерода и свободный водород. Другая часть органических соединений с полученным ацетатом на 2 стадии ацетатом образует C1 соединения (простейшие органические кислоты). Полученные вещества являются питательной средой для метанобразующих бактерий 3 стадии. 3 стадия протекает по двум процессам, вызванные различной группой бактерий. Эти две группы бактерий преобразуют питательные соединения 2-й стадии в метан CH<sub>4</sub>, воду H<sub>2</sub>O, двуокись углерода.

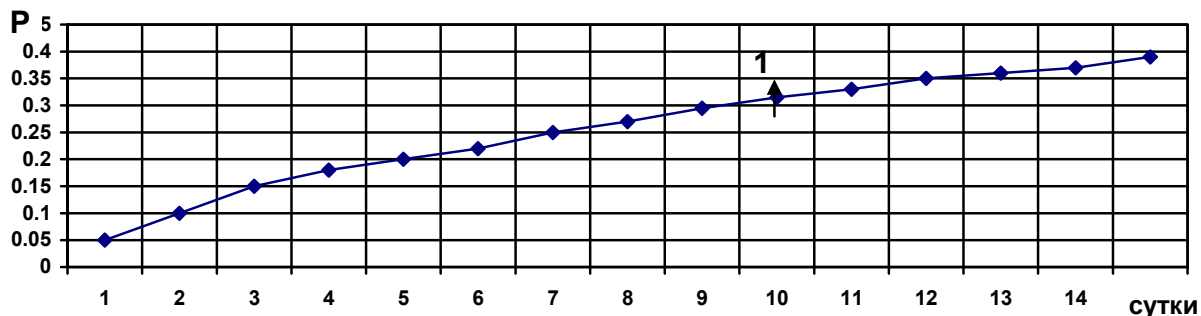
В качестве органических отходов используются: навоз, зерновая и меласная послеспиртовая барда, пивная дробина, свекольный жом, фекальные осадки, отходы рыбного и забойного цеха (кровь, жир, кишки, каньга), трава, бытовые отходы, отходы молокозаводов — лактоза, молочная сыворотка.

Принцип производства биогаза заключается в экологически чистой безотходной переработке органических отходов. Выход биогаза зависит от содержания сухого вещества и вида используемого сырья. Из тонны навоза крупного рогатого скота получается 30–50 м<sup>3</sup> биогаза с содержанием метана 60 %, 150–500 м<sup>3</sup> биогаза из различных видов растений с содержанием метана до 70 %. Максимальное количество биогаза — это 1300 м<sup>3</sup> с содержанием метана до 87% — можно получить из жира.

В соответствии с функциональной схемой перечисленные виды отходов накапливаются в специальном бункере. В этот бункер осуществляется предварительная подготовка биомассы и в жидком виде подается в метантенке (биореактор).

В зависимости от суточного выхода навоза, помета и других отходов, а также от объема потребности биогаза в тот или иной период выбирается мезофильный или термофильный режим работы биореактора. Очень важно при первичной загрузке биореактора смешать коровий навоз и птичий помет приблизительно в равных пропорциях.

Процесс сбраживания может проходить при использовании или не использования катализатора. На рис.2 представлен процесс получения биогаза в созданной установке объемом биореактора 0,26 куб.м. и объемом газгольдера 0,080 куб.м. без использования катализатора и с использованием птичьего помета в качестве сырья.



**Рис.2.** Динамика роста давления в метантенке от начало загрузки сырья до получения товарного (горючего) газа без использования катализатора и температура сбраживания  $20^{\circ}\text{C}$ . Точка 1, является точкой получения горючего газа  $\text{CH}_4$ , углекисленного газа и водорода  $\approx 50\%$ .

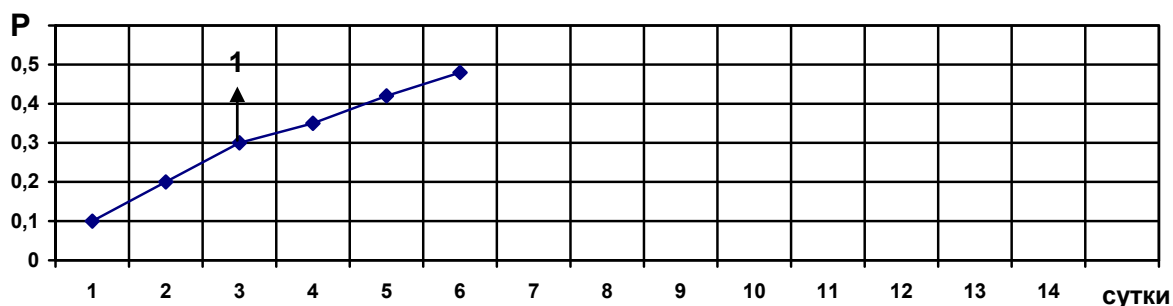
Как видно из рис.2 горючий газ получается только на 10 сутки. Продолжительность сбраживания 20–30 суток. Выбранный режим сбраживания и использование катализаторов решающим образом влияет как на начало выдачи товарного (горючего) газа, так и на продолжительность сбраживания. Поскольку биогаз расходуется неравномерно, а установка вырабатывает его постоянно, то возникает вопрос об его аккумулировании. С этой целью, предложенная установка снабжена газгольдером.

При использовании катализаторов, процесс сбраживания происходит более интенсивно, как это видно из рис.3.

На рис.3 показан процесс сбраживания также для птичьего помета но при других условиях:

- Катализатор – меласса 5% от объема загрузки;
- Температура сбраживания  $37^{\circ}\text{C}$ ;

Продолжительность сбраживания 17-25 суток в зависимости от качества сырья.



**Рис.3.** Динамика роста давления в метантенке от начало загрузки сырья до получения товарного (горючего) газа с использованием катализатора и температура сбраживания  $37^{\circ}\text{C}$ . Точка 1, является точкой получения горючего газа  $\text{CH}_4$ .

Хорошим катализатором сбраживания биомассы является меласса (патока). Поэтому, на рис.3 представлены полученные результаты при использовании мелассы в пропорциях 5% от объема загружаемого биомассы. Тип ферментации был выбран мезофильный. Как видно из результатов представленных на рис.3 горючий газ получается

уже на 3 сутки. Продолжительность сбраживания при этих условиях составляет 17-25 суток в зависимости от качества сырья.

Первичный запуск биореактора осуществляется путем подогрева и поддержания температуры биомассы при использовании традиционных видов энергии (электрическая энергия, дрова, пропан – бутан и др.). Режим работы биореактора контролируется манометром высокого давления, манометром низкого давления и датчиком температуры. При появлении горючего газа (55-60%  $\text{CH}_4$  и 40-45%  $\text{CO}_2$ ) подача тепловой или электрической энергии от постороннего источника прекращается и дальнейшее поддержание режима работы биореактора осуществляется в соответствии с функциональной схемой.

#### **4. ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ БГУ**

Суточная производительность БГУ зависит от объема перерабатываемого сырья, его качества и режима работы биореактора (мезофильный или термофильный). Усредненная производительность при переработке  $0,5\text{ м}^3$  биомассы составляет 6-8  $\text{ м}^3$  газа с теплопроводностью 5500-5600 кка, что эквивалентно 3,6-4,8 $\text{ м}^3$  природного газа.

При использовании БГУ в сфере «Малого бизнеса» совсем необязательно использовать биогаз в режим ON-LINE. Вполне допустимо его накапливать и использовать по мере необходимости (например в системах орошения для питания дизельных насосов). В таких случаях объем газгольдера определяется не от суточного выхода биогаза, а в зависимости от цикличности работы оросительных установок или других потребителей газа. Требование к очистке выработанного биогаза зависит от вида потребителей. Так, использование биогаза в оросительных котлах фактически не требует очистки, а для работы двигателя внутреннего сгорания требуется фильтр.

#### **5. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ**

Сфера «Малого бизнеса» появилась в период разгосударствления крупнотоварного производства в силу его нерентабельности. В интересах малого бизнеса Российские товаропроизводители предлагают БГУ с рабочим объемом биореактора 2,5-20  $\text{ м}^3$ .

Стоимость этих БГУ без учета газосжигающего оборудования составляет 6,0-12 тысяч евро. Срок окупаемости по утверждению производителей составляет 1,1-2,2 года.

Однако в условиях Молдовы уровень первичных затрат на строительство биогазовых установок можно снизить в разы. Дело в том, что в Молдове в связи с повышением требований к качеству виноматериалов, практически на всех винзаводах идет реконструкция с освобождением огромного количества стальных цистерн емкостью 10 $\text{ м}^3$  и более. Эти цистерны можно фактически без доработки использовать в качестве биореакторов (метантенков) и газгольдеров. Стоимость их будет исчисляться ценой металлолома.

Кроме того, в конце XX века в Молдове долгое время имели место «веерные» отключения электроэнергии. Это привело к тому, что в сфере малого бизнеса и в частном секторе накопилось большое количество бензиновых и дизельных электростанций, которые с большим успехом могут использоваться как газосжигающее оборудование.

Также, нужно учесть, что при производстве биогаза получается биошлам. Биошлам используется как удобрение на полях хозяйства, при полной переработке субстрата в

реакторе установки, биошлам можно использовать как добавку в корм свиньям и домашней птице. После несложной обработки (фильтрация и сушка) биошлама его можно реализовывать в коммерческих целях. Потенциальные покупатели удобрения из биошлама - садоводческие хозяйства, дачные кооперативы и пр.

Соответственно не придется искать кредитные схемы с их высокими издержками. Смонтированная БГУ не требует значительных трудозатрат на обслуживание (2-3 человека/часа в день).

Поэтому, такие работы могут выполняться сторожевым или другим низкоквалифицированным персоналом. По мере дальнейшего повышения цен на энергоносители всех видов и, особенно, с учетом того, что энергоёмкость ВВП Молдовы в 3-4 раза выше средневропейской, использование БГУ в сфере малого бизнеса крайне важно.

## 6. ВЫВОДЫ

Предложена комплексная биоэнергетическая установка для производства электрической энергии, газа и тепла, использующая в качестве сырья навоз, птичий помет и другие твердые органические отходы. Предложенное схемное решение обеспечивает 100% использование энергии сжигаемого газа за счет внедрения обратной связи между электростанцией и биореактором.

Представлены оптимальные необходимые условия для ускорения процесса сбраживания, а как результат уменьшение времени необходимого для получения горючего газа.

## 7. НАУЧНАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследования были проведены при финансовой поддержке Высшего Совета по Науке и Технологическому Развитию Академии Наук Республики Молдова в рамках молодежного проекта №07.409.36 INDA.

## Литература

1. Biogas production. <http://www.habmigern2003.info/PDF/methane-digester.pdf>
2. Biogas. <http://en.wikipedia.org/wiki/Biogas>
3. Harold House, P.Eng. ALTERNATIVE ENERGY SOURCES – BIOGAS PRODUCTION. [http://www.londonswineconference.ca/proceedings/2007/LSC2007\\_HHouse.pdf](http://www.londonswineconference.ca/proceedings/2007/LSC2007_HHouse.pdf)
4. Биореакторы для переработки биологических отходов. <http://www.koud.ru/>
5. Калмыкова Ю., Герман А., Жирков В. Твердые бытовые отходы. Утилизация и переработка бытовых отходов. Вторичное сырье. – Основы производства биогаза. <http://www.solidwaste.ru/publ/view/34.html>

*Получено редакцией 16 октября 2008 г.*