

УДК 631.862:631.333.92

10.17213/2075-2067-2020-2-28-34

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ МАЛЫХ ФОРМ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

© 2020 г. **В. П. Максимов, С. С. Таран, Н. П. Долматов, С. В. Египко**

*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова
Донского государственного аграрного университета, г. Новочеркасск, Россия*

В статье на примере крестьянско-фермерских хозяйств Ростовской области рассматриваются экономические основы энергоснабжения и целесообразности применения биогазовых технологий. Разработана концептуальная модель конструкции биогазовой установки, обладающей высокой эффективностью и инновационной привлекательностью. Применение предложенной биогазовой установки позволит понизить ежегодные издержки производства крестьянско-фермерских хозяйств за счет частичного или полного отказа от центрального снабжения энергоносителями.

Ключевые слова: экономия; исследование; установка; технология; сырье; эффективность; хозяйство; биоэнергетика; биогаз.

ECONOMIC BASES OF ENERGY SUPPLY FOR SMALL BUSINESSES ON THE EXAMPLE OF USING BIOGAS PLANTS

© 2020 **V. P. Maximov, S. S. Taran, N. P. Dolmatov, S. V. Egipko**

*Kortunov Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute,
Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russia*

The article examines the economic basis of energy supply and the feasibility of using biogas technologies on the example of peasant farms in the Rostov region. A conceptual model of the construction of a biogas plant with high efficiency and innovative attractiveness has been developed. The use of the proposed biogas plant will reduce the annual production costs of peasant farms, due to partial or complete rejection of the central supply of energy carriers.

Key words: economy; research; installation; technology; raw materials; efficiency; agriculture; bioenergy; biogas.

В настоящее время в Ростовской области насчитывается 12,5 тысяч крестьянских (фермерских) хозяйств, которые обрабатывают 1,6 млн. га (19% от общей площади земель сельскохозяйственного назначения области). В общем объеме валовой продукции сельского хозяйства на долю крестьянских хозяйств приходится 11,4% [1]. При этом наблюда-

ется негативная тенденция по резкому снижению количества гумуса в почве, основной причиной которого является недостаточное внесение удобрений, в первую очередь, органических. В то же время во многих европейских странах доля органических удобрений значительно возрастает, и фермеры предпочитают переходить на так называемое «органи-

ческое земледелие» [2]. Одним из основных видов органических удобрений являются навоз и помет, которых в крестьянских хозяйствах вполне достаточно. Так, поголовье КРС в этих хозяйствах составляет 57 тыс. голов или 10% от общего поголовья, поголовье овец — 269 тыс. голов или 30%, поголовье свиней — 41 тыс. голов или 8% [1]. Однако без соответствующей переработки такую органику использовать в качестве удобрений нельзя, так как она содержит болезнетворные микроорганизмы, зародыши гельминтов, семена сорных растений и другие вредные компоненты.

Для обеспечения крестьянского хозяйства комфортными бытовыми условиями, для качественного производства и переработки производимой им сельхозпродукции, а также для утилизации отходов требуется большое количество энергии. Эта энергия может быть получена от различных источников: ГСМ, газа, электричества, удобрений, воды... Здесь и возникает главный для фермера вопрос: где эту энергию взять и сколько это стоит?

Повышение эффективности сельхозпроизводства, напрямую связанное с удельной энергоемкостью крестьянского хозяйства, зачастую сдерживается не только высокими ценами на энергоносители, но и для ряда отдаленных от центральных усадеб хозяйств фактической невозможностью подключения к стационарным газовым и электрическим сетям. Так, в среднем по Ростовской области газифицировано около 50% сельских населенных пунктов, а в ряде районов — Шолоховском, Заветинском, Пролетарском, Кашарском — значительно меньше [1]. Ситуация значительно усугубляется при товарном производстве продукции животноводства и птицеводства, так как в этом случае требуются дополнительные затраты на утилизацию отходов.

Решение этой проблемы лежит в области альтернативных возобновляемых источников энергии. Сегодня во всем мире, в том числе и в России, такая энергетика интенсивно развивается, включая биоэнергетику, гидроэнергетику, ветроэнергетику, геотермальную энергетику, солнечную энергетику, приливную энергетику. В Ростовской области реально можно использовать только био-, ветро- и солнечную энергетику. Из них самой эффективной, к тому же не зависящей от капризов погоды, является биоэнергетика

на базе биогазовых установок. Такая установка позволяет не только получать легко трансформируемую энергию (биогаз — биотопливо — тепло — электричество), утилизировать органические отходы сельхозпроизводства, одновременно решая серьезную экологическую проблему, но и производить высококачественные органические удобрения, как в жидком, так и в сухом виде.

Биогазовая установка, таким образом, становится инновационным элементом современного безотходного производства во многих областях сельского хозяйства. Наличие различных отходов растениеводства, животноводства или птицеводства позволяет с помощью биогазовой установки не только превратить их в полезный продукт, но и значительно сократить расходы на потребляемую энергию, а также повысить эффективность предприятия и получить дополнительную прибыль [3]. Сырьем для получения биогаза могут служить как жидкий и плотный навоз от КРС, свиней, домашних птиц, так и отходы растениеводства. Следует отметить, что высокая концентрация аммония в навозе сдерживает производство газа метана. По этой причине птичий помет так же, как и навоз свиней, используют вместе с кофферментами.

Принципиально выработка биогаза — несложная и доступная каждому сельскохозяйственному производству операция. Она отличается высокой рентабельностью, так как позволяет собирать и утилизировать в экологически замкнутой энергетической системе стоки животноводческих ферм, сельскохозяйственные и бытовые отходы и получать на выходе биогаз, близкий по свойствам природному газу. Таким образом, **биогаз может рассматриваться как один из альтернативных источников тепловой и электрической энергии в сельской местности, а также как эффективный экологичный способ переработки отходов животноводства и растениеводства, твердых бытовых отходов и коммунальных стоков.** В результате не только улучшается санитарное состояние территории, уничтожаются возбудители инфекционных заболеваний, исчезает неприятный запах гниения, гибнут семена сорняков, но и образуются ценнейшие высококачественные органические удобрения, обладающие повышенным гумусным потенциалом [4].

Получение биогаза из органических отходов основано на свойстве последних выделять горючий газ в результате так называемого «метанового сбраживания» в анаэробных (без доступа воздуха) условиях. Биогаз, образующийся при метановом сбраживании, представляет собой смесь, состоящую из 50...80% метана, 20...50% углекислого газа, примерно 1% сероводорода, а также включающую в себя незначительное количество некоторых других газов (азота, кислорода, водорода, аммиака, закиси углерода и др.). В этом сложном комплексе превращений участвует множество микроорганизмов, по некоторым данным — до тысячи видов, но главные из них все-таки метанообразующие бактерии. Отметим, что метанообразующие бактерии значительно медленнее размножаются и более чувствительны к изменениям окружающей среды, чем кислотообразующие микроорганизмы-бройлещики, поэтому вначале в сбраживаемой среде накапливаются летучие кислоты, а эту первую стадию метанового сбраживания называют кислотной. Потом скорости образования и переработки кислот выравниваются, так что в дальнейшем разложение субстрата и образование газа идут одновременно. И естественно, от условий, которые создаются для жизнедеятельности метанообразующих бактерий, зависит интенсивность газовыделения [2–5].

Выход биогаза зависит от содержания сухого вещества и вида используемого сырья. Например, из тонны навоза крупного рогатого скота можно получить до 65 м³ биогаза с содержанием метана 60%, тонна птичьего помета может дать до 90 м³ биогаза, а из тонны кукурузного силоса получается до 180 м³ биогаза с содержанием метана до 70%. Максимальное количество биогаза — это 1300 м³ с содержанием метана до 87% — можно получить из жира.

Однако все вышеприведенные данные характеризуют только потенциальный максимум выхода биогаза. К сожалению, на сегодняшний день не существует единой теоретической базы для создания надежной технологии получения биогаза из органических отходов. Все основные величины характеристики процесса биосинтеза биогаза, приводимые в различных источниках, имеют весьма большой разброс [2, 3, 5].

Очевидно, что для эффективной работы установки, производящей биогаз, кроме строго анаэробной среды, необходимо соблюдать ряд требований. Прежде всего, надо поддерживать в реакторе оптимальные температурный и кислотный режимы и постоянно следить за наличием питательных веществ в сбраживаемой среде, обеспечивая низкое содержание в ней веществ-ингибиторов, препятствующих жизнедеятельности микроорганизмов.

На практике производство биогаза как побочного продукта утилизации отходов является достаточно сложной инженерной задачей, в которой глобальная цель — «эффективность» — может достигаться различными способами в зависимости от конкретных условий, где определяющими являются вид и количество исходного сырья. Анализ существующих на сегодняшний день технологий биопроизводства позволил классифицировать их по следующим основным признакам.

1. Технология получения газа:

1.1. По количеству ступеней процесса:

- одноступенчатые;
- двухступенчатые;
- многоступенчатые.

1.2. По температурному режиму:

- психофильный (до ≈25 °С);
- мезофильный (от 32 до 42 °С);
- термофильный (от 50 до 57 °С).

1.3. По загрузке реактора:

- периодическая;
- квазинепрерывная;
- непрерывная.

1.4. По относительному количеству сухого вещества:

- влажная ферментация;
- сухая ферментация.

2. Принцип использования газа:

— для производства электрической и тепловой энергии (при сжигании в блочных мини-ТЭЦ);

— для производства тепла (при сжигании в отопительном котле или других бытовых приборах);

— для производства газа (выделение метана и закачка в газопровод или в баллоны);

— комбинированный.

3. Используемое сырьё:

— сельскохозяйственные биогазовые установки, использующие зеленую массу, не подвергшуюся первичной переработке, и/или

продукты выделения сельскохозяйственных животных;

— коферментационные биогазовые установки, использующие смесь сельскохозяйственного сырья и органических отходов, подвергшихся первичной переработке.

Выбранная технология реализуется определенной последовательностью технологических операций на соответствующем технологическом оборудовании, поэтому весьма существенным является выбор наилучшей для конкретных условий конструктивной схемы оборудования.

4. Конструктивные схемы оборудования:

4.1. Подготовка смеси. Основные требования к смеси — это мелкодисперсность (поскольку реакции проходят по поверхности контакта), однородность, соответствующие влажность и температура. Это достигается:

— измельчением компонентов ручным или механическим способом, ультразвуковыми или электроимпульсными приборами;

— ручным или механическим перемешиванием;

— подачей горячей воды.

4.2. Перемещение биомассы по технологической цепочке:

— вручную;

— самотеком;

— винтовыми или центробежными насосами.

4.3. Реактор (метатанк):

— материал: металл, бетон, полиэтилен, стеклоткань;

— форма: горизонтальная цилиндрическая, вертикальная цилиндрическая, другая;

— поддержание требуемой температуры: электротенами, водяными трубчатыми радиаторами, электрическими панелями;

— разрушение поверхностной корки и перемешивание: ручными или механическими мешалками, гидравлическим способом;

— отбор и использование осадка: самотеком или насосом в отстойник, отделение эксгрудером жидкой фракции (добавление в реактор или после дополнительного обеззараживания в качестве жидких удобрений) и формирование твердой составляющей в гранулы или брикеты (концентрированные удобрения);

— отбор и использование газа: в гибкие газгольдеры с распределением по газовой

сети (бытовые приборы), компрессором в ресивер с последующей закачкой в баллоны или подачей в газотурбинный генератор электроэнергии и использование выходящих горячих газов для системы подогрева реакторов.

5. Система контроля и управления параметрами технологического процесса:

— ручное;

— полуавтоматическое;

— автоматическое.

Таким образом, полученная в рамках системного подхода (концепция — технология — конструкция — управление) база знаний позволяет при использовании известных приемов анализа и синтеза [6] разработать рациональную с точки зрения максимальной эффективности биогазовую установку.

Разнообразие применяемого сырья и его количество, вид конечного продукта, географические и климатические условия, кадровый и финансовый ресурс, жесткие ограничения экономического и экологического плана — всё это и определяет выбор технологических и конструктивных вариантов биогазовой установки. Отсюда следует, что для достижения максимальной эффективности необходимо каждую биогазовую установку проектировать индивидуально. Только установки, выполненные с учетом всех специфических факторов, рассчитанные, спроектированные и построенные индивидуально под конкретное техническое задание, будут работать стабильно и с максимальной мощностью весь расчётный период эксплуатации.

На сегодняшний день проблемами разработки биогазовых технологий и создания оборудования занимается множество организаций. Наиболее известные в России: ЗАО «Центр «ЭкоРос», АО «Стройтехника», ГНУ ВИЭСХ (г. Москва), ООО «Компания ЛМВ Ветроэнергетика» (г. Хабаровск), ООО «Трансфин» (г. Рыбинск), НПО «Энергомашавтоматика»; на Украине: «Теплосоюз» и «Биогаз». Из западных компаний в России наибольшую известность получила компания «ZORG».

Однако эти разработки не в полной мере отвечают специфическим условиям Ростовской области, особенно её юго-востоку. Причины этому разные: серьезные проекты таких компаний, как «ZORG» или «Энергомашавтоматика», разрабатываются под большие жи-

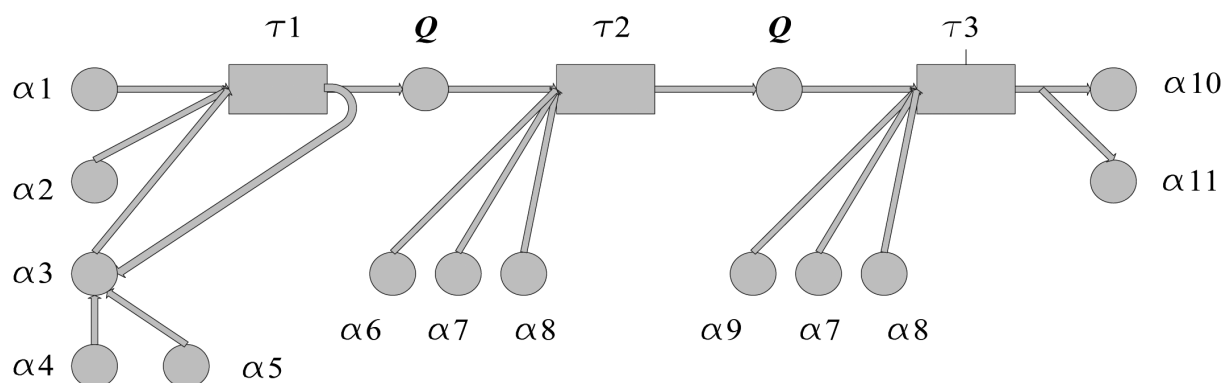


Рис. 1. Модель процесса биогазовой установки в форме графа сети Петри:

$\alpha 1$ — отходы животноводства и птицеводства; $\alpha 2$ — растительные остатки;
 $\alpha 3$ — подготовка смеси; $\alpha 4$ — измельчение; $\alpha 5$ — перемешивание; $\alpha 6$ — 1-я секция реактора;
 $\alpha 7$ — подвод тепла; $\alpha 8$ — перемешивание; $\alpha 9$ — 2-я секция реактора;
 $\alpha 10$ — биогаз; $\alpha 11$ — удобрения

вотноводческие хозяйства или птицефабрики и требуют огромных капитальных вложений, например, суммарные затраты на биогазовую установку компании «ZORG» производительностью по сырью 20 т/сутки клеточного помета составляют примерно 1100 тыс. евро [7]. Уровень других разработок, ориентированных на средние и малые хозяйства, не отвечает имеющемуся научному потенциалу.

Учитывая важность рассматриваемой проблемы и особенности Ростовской области, ученые НИМИ разработали проект биогазовой установки для условий малых крестьянских хозяйств Ростовской области, отвечающей всем современным требованиям, имеющей высокую эффективность и инвестиционную привлекательность.

В соответствии с предложенной концепцией объединения трех стадий технологического цикла разработана модель структурной оптимизации в форме графа сети Петри (рис. 1), для чего применена логическая система правил, которая моделирует процессы перехода различных исходных материалов в конечную продукцию и позволяет анализировать структуру процесса. При этом приемлемой является теория логической системы правил и исчисления высказываний.

В разработанной модели отражены все этапы процесса сбраживания смеси различных отходов, показан цикл процесса получения высокоэффективного многокомпонентного органического удобрения, биогаза.

Предлагаемая биогазовая установка имеет следующие преимущества:

- высокая степень разложения исходного сырья, достигаемая с помощью кавитационного ультразвукового или электроимпульсного устройства. Высокая степень гомонизации и мелкодисперсность повышает выход метана до 75 % и снижает органическую загрязненность осадка до 5 %;

- двухступенчатая схема биореактора. На первой ступени происходит преимущественно кислотное брожение с выделением углекислого газа, на второй — дображивание с высоким содержанием метана;

- рациональная схема принудительного перемещения жидкого субстрата, как между элементами биогазовой установки, так и внутри реакторов;

- использование двухслойной изоляции реактора, снижающей теплопотери;

- вихревая очистка (обеззараживание) стоков;

- высокая степень автоматизации технологического процесса.

Литература

1. Официальный портал Правительства Ростовской обл. [Электронный ресурс] — Режим доступа: www.donland.ru/dtfault.aspx?pageid=101841, вход свободный.

2. Чернышов А. А. Совершенствование биогазовых установок для производства

удобрений из навоза КРС: дисс ... канд. техн. наук. 05.20.01. — Москва, 2004.

3. *Шолин А. А.* Биогаз на сельском подворье. — М.: Колос С, 2002.

4. *Соуфер С.* Биомасса как источник энергии. — М.: Наука, 1995.

5. *Свалова М. В.* Математическая модель процесса получения биогаза из отходов производства птицеводства // «Вестник ИжГТУ», №3. — 2008.

6. *Максимов В. П.* Методология системного анализа и синтеза базовой структуры подпоровного агрегата // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. Технические науки. — №4. — 2006.

7. Прайс-лист на биогазовые станции [Электронный ресурс] — Режим доступа: www.zorgbiogas.ru, вход свободный.

Поступила в редакцию

15 февраля 2020 г.



Максимов Валерий Павлович — доктор технических наук, профессор кафедры «Машины природообустройства» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А. К. Кортунова Донского государственного аграрного университета.

Maximov Valery Pavlovich — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Machine engineering Department, Don State Agrarian University, Kortunov Novocherkassk Institute of Reclamation Engineering.

346411, г. Новочеркасск, ул. Буденновская, 119, кв. 40
119 Budennovskaya st., app. 40, 346411, Novocherkassk, Russia
E-mail: v_maximov@mail.ru



Таран Сергей Сергеевич — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, директор Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А. К. Кортунова Донского государственного аграрного университета.

Taran Sergey Sergeyevich — candidate of agricultural Sciences, associate Professor, Director of Don State Agrarian University's Novocherkassk Institute of Reclamation Engineering.

346400, г. Новочеркасск, пер. Сосновый, 8, кв. 10
8 Sosnovy st., app. 10, 346400, Novocherkassk, Russia
E-mail: star-good@ya.ru



Долматов Николай Петрович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины природообустройства» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А. К. Кортунова Донского государственного аграрного университета.

Dolmatov Nikolay Petrovich — candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department «Machine engineering» of Don State Agrarian University's Novocherkassk Institute of Reclamation Engineering.

346410, г. Новочеркасск, ул. Фрунзе, 3
3 Phrunze st., 346410, Novocherkassk, Russia
E-mail: dolmanik@yandex.ru



Египко Сергей Владимирович — кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины природообустройства» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А. К. Кортунова Донского государственного аграрного университета.

Egipko Sergey Vladimirovich — candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department «Machine engineering» of Don State Agrarian University's Novocherkassk Institute of Reclamation Engineering.

346410, г. Новочеркасск, ул. Грекова, 91
91 Grekova st., 346410, Novocherkassk, Russia
E-mail: egipko_@mail.ru