

А.А. Ковалёв

Д.А. Ковалёв, канд. техн. наук

Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства Россельхозакадемии

О.М. Осмонов, канд. техн. наук

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА ТОВАРНОГО БИОГАЗА ПРИ АНАЭРОБНОЙ КОНВЕРСИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ В БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

Вмировой практике наряду с другими возобновляемыми источниками энергии широко используются биоэнергетические установки (БЭУ) для утилизации органических отходов, в анаэробных условиях которых сбраживают в основном навоз и навозные стоки влажностью 90...95 %, а продуктами их переработки являются биологический газ и высококачественные органические удобрения [1].

Анализ технологических схем БЭУ, разработанных и применяемых в различных странах мира, показывает, что повышение интенсивности газовой выделенности при соизмеримой полноте разложения органической составляющей навоза связано с эффективностью обеспечения теплового режима сбраживания с затратами значительного количества энергии.

При этом по результатам энергетического анализа БЭУ, выполненных в лаборатории биоэнергетических установок ВИЭСХ [2], существенное влияние на тепловой баланс биогазовых систем переработки органических отходов животноводства оказывают природно-климатические условия размещения животноводческих ферм и содержание сухого органического вещества (СОВ) в составе сбраживаемой биомассы (таблица). Результаты этих исследований имеют большое практическое значение и должны учитываться при сооружении и эксплуатации биогазовых систем переработки органических отходов.

Представленные данные показывают, что оптимальный тепловой баланс у БЭУ, работающих в районах с жарким климатом при мезофильном режиме сбраживания биомассы с содержанием СОВ, составляет 80 кг/м³, при этом расходы энергии на собственные нужды установки — 20...22 %. Для биогазовых систем, применяемых в зонах с умеренным климатом, положительный тепловой баланс достигается при сбраживании биомассы с содержанием

СОВ более 40 кг/м³. В условиях холодного климата даже при сбраживании биомассы с содержанием СОВ 80 кг/м³ расход энергии на собственные нужды может превысить 75 %. При сбраживании биомассы с содержанием СОВ менее 20 кг/м³ биогазовые системы имеют отрицательный тепловой баланс во всех климатических зонах.

Видно, что анаэробное сбраживание субстрата влажностью выше 90 % — энергоемкий процесс и, несмотря на положительные эффекты анаэробной обработки навоза в биогазовых реакторах, серьезным тормозом их внедрения в сельское хозяйство России является их относительно низкая энергетическая эффективность. Такое положение дел связано в основном с недостаточной эффективностью применяемых систем подогрева субстрата, и актуальными являются вопросы их совершенствования с целью повышения коэффициента полезного действия биогазовых реакторов.

Авторы статьи проанализировали следующие методы повышения энергетической эффективности систем генерации энергии на основе анаэробной обработки отходов животноводства:

- добавка к обрабатываемым отходам высокоэнергетических субстратов (зерно, силос, клеверозлаковая смесь и т. п.);
- прямая рекуперация тепловой энергии (субстрат/эффлюент);
- рекуперация тепловой энергии с использованием термотрансформаторов;
- предварительный аэробный нагрев субстрата.

Влияние климатических условий на тепловой баланс БЭУ

Показатели на 1 м ³ биомассы		Общий расход теплоты на собственные нужды, МДж/м ³			Энергия биогаза, МДж
Содержание СОВ, кг	Выход биогаза, м ³	Холодный климат	Умеренный климат	Жаркий климат	
80	20,0/22,0	266/351	154/233	97/169	460/506
60	15,0/17,5	266/351	154/233	97/169	345/403
40	10,0/11,8	266/351	154/233	97/169	230/270
20	5,0/5,9	266/351	154/233	97/169	115/136

Примечание. В числителе дроби данные мезофильного режима сбраживания, в знаменателе — термофильного режима сбраживания.

Добавка к обрабатываемым отходам высокоэнергетических субстратов. Современные технологии позволяют перерабатывать в биогаз любые виды органического сырья, однако наиболее эффективно использование биогазовых технологий для переработки отходов животноводческих и птицеводческих ферм, предприятий АПК и сточных вод, так как они характеризуются постоянством потока отходов во времени и простотой их сбора.

Поскольку сырьем для получения биогаза может служить широкий спектр органических отходов на многих существующих биогазовых установках, используется добавка к обрабатываемым отходам так называемая зеленая масса. Активного обмена веществ и высокой скорости биохимических обменных процессов можно достигнуть, если поддерживать и непрерывно обновлять максимально возможную величину граничных поверхностей между твердой и жидкой фазами. Поэтому твердые материалы, в особенности растительного происхождения, должны быть предварительно подготовлены с помощью режущих, разрывающих или плющильных устройств, чтобы в результате эффективного механического воздействия получить частицы возможно меньшего размера. Доля взвешенных в жидкости твердых частиц в значительной мере зависит от технических средств, которые используются для получения тщательного перемешивания, гидравлического транспортирования субстрата и отделения газа. Современный уровень развития техники позволяет перерабатывать субстраты с содержанием твердых веществ до 12%, если длина частиц твердых компонентов не превышает 30 мм. Измельчение зеленой массы приводит к дополнительным затратам энергии.

Твердые вещества, плотность которых существенно отличается от плотности жидкости, обуславливают образование осадка (седиментацию), или плавающей корки, чему способствует флотация. Возникающие в связи с этим механико-гидравлические проблемы и ухудшение процесса газообразования могут привести к тому, что для их устранения потребуются высокие затраты технических средств и энергии.

Прямая рекуперация тепловой энергии. Теплота, содержащаяся в эффлюенте, представляет собой дополнительный резерв энергии, который следует по возможности использовать для подогрева загружаемого субстрата и компенсации теплотерь в реакторе. Простейшим решением является установка на линии выгрузки эффлюента из биореактора рекуперативного теплообменника

типа «инфлюент—эффлюент». Эта схема обеспечивает использование теплоты сброженного субстрата для частичного подогрева инфлюента. Ее применение сокращает расход энергии на сбраживание субстрата. Наиболее эффективно схема может применяться при термофильном режиме в биореакторе.

В качестве теплообменных аппаратов обычно применяют спиральные теплообменники типа «инфлюент—эффлюент». Однако схемы, в которых инфлюент проходит через накопитель эффлюента, имеют более простое конструктивное решение, но в этих случаях вторично используется сравнительно небольшая часть энергии вследствие потерь в накопителе шлама. Пример такой схемы приведен на рис. 1.

Органические отходы животноводства, как правило, имеют большую липкость, вязкость и очень разнообразны по дисперсному составу. Поэтому скорость движения субстрата должна быть не менее 3...5 м/с, из-за чего теплота эффлюента не успевает передаться субстрату, загружаемому в метантенк.

Рекуперация тепловой энергии с использованием термотрансформаторов. Обработанный в анаэробном биореакторе субстрат (эффлюент) направляется в накопитель эффлюента и в непрерывном режиме прокачивается через теплообменник-испаритель теплового насоса. Тепловая энергия от эффлюента через легкокипящий теплоноситель после повышения температурного потенциала в компрессоре передается через теплообменник-конденсатор исходному субстрату, циркулирующему по схеме «биореактор—насос—теплообменник-конденсатор—биореактор». Таким образом, тепловая энергия нагретого субстрата, отводимого из биореактора, полезно используется для нагрева инфлюента. При коэффициенте преобразования теплового насоса на уровне 4...5 на каждые 3...4 кВт тепловой мощности, отводимой из биореактора с эффлюентом, может быть получено 4...5 кВт подво-

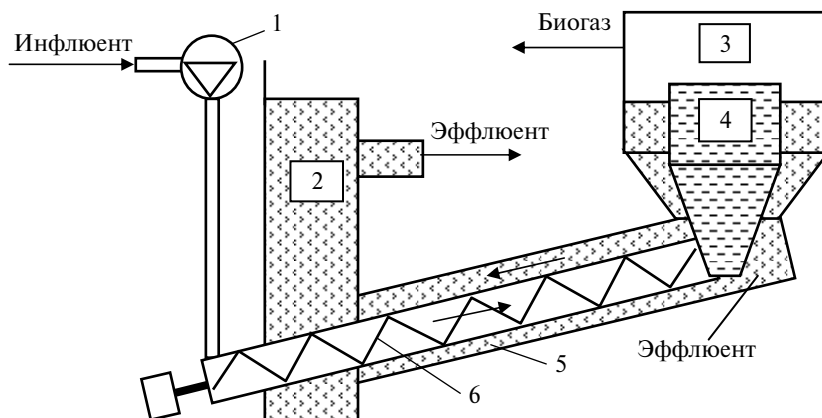


Рис. 1. Прямой подогрев инфлюента за счет отбросной теплоты эффлюента:
1 — насос; 2 — накопитель эффлюента; 3 — газовое пространство;
4 — реактор; 5 — теплоизоляция; 6 — шнек

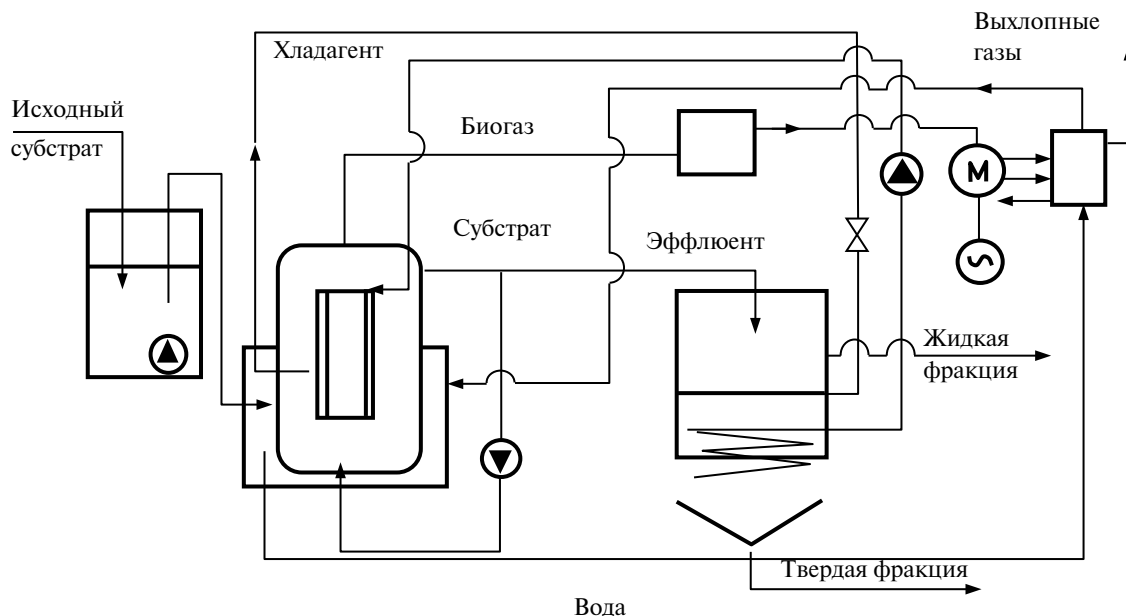


Рис. 2. Использование отбросной теплоты эффлюента с помощью теплового насоса

димой к исходному субстрату тепловой мощности. При этом расходуется ~1 кВт механической мощности на приводе компрессора.

Основным недостатком данного технического решения является образование отложений на теплообменных поверхностях со стороны навоза, что приводит к существенным потерям тепловой мощности или к необходимости существенного увеличения дорогостоящих поверхностей теплообмена.

Другим недостатком является низкая интенсивность основных процессов, определяющих производительность технологической линии «приемная емкость—биореактор—отстойник эффлюента».

Схема использования отбросной теплоты эффлюента с помощью теплового насоса приведена на рис. 2.

Из-за отсутствия предварительной микробиологической обработки исходного навоза с целью повышения степени растворения органического вещества и получения исходного субстрата с повышенным содержанием компонентов, способствующих интенсивному метаногенезу, снижается удельная производительность линии по биогазу и субстрату. В отстойнике эффлюента из-за остаточного газовыделения существенно снижается интенсивность процесса разделения обработанного субстрата на твердую и жидкую фракции, что в итоге приводит к увеличению массогабаритных характеристик отстойника эффлюента.

Предварительный аэробный нагрев субстрата (рис. 3). При

аэробном разложении органических веществ высвобождается такое количество теплоты, что при благоприятных условиях температура субстрата может достигать 65...70 °С [3]. Так как эта тепловая энергия образуется теми же веществами, которые выделяют биогаз, двухступенчатый процесс брожения, состоящий из первой, аэробной фазы, имеющий цель — получение теплоты, и второй, анаэробной, служащей для производства газа, всегда связан с меньшим выходом газа. Кроме того, следует учитывать тот факт, что аэробное брожение (компостирование) без дополнительной затраты энергии (не считая подготовки) возможно лишь при наличии твердого и влажного органического материала, который обладает благоприятной для газообмена пористой структурой. Жидкие субстраты, напротив, требуют для внесения в них воздуха с одновременным интенсивным перемешиванием больших затрат энергии, которые неблагоприятно сказываются на общем энергетическом балансе. Дополнительные затра-

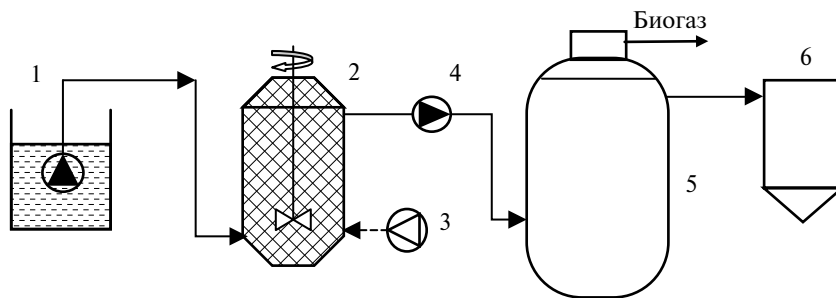


Рис. 3. Предварительный аэробный нагрев субстрата:

1 — приемная емкость с насосом; 2 — аэробный реактор; 3 — воздуходувка; 4 — насос; 5 — анаэробный реактор; 6 — отстойник эффлюента

ты денежных средств в этом случае также относительно велики.

Таким образом, использование средств повышения энергетической эффективности биогазовых реакторов позволит значительно расширить сферу их применения в АПК при обработке органических отходов различного состава, однако решение об использовании того или иного метода должно приниматься исходя из конкретных условий сельскохозяйственного предприятия.

УДК 631.365.22

Н.В. Оболенский, доктор техн. наук

Д.Ю. Данилов

Нижегородский государственный инженерно-экономический институт

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНДИЦИОННОЙ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА В ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВАХ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ КАССЕТНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЕГО СУШКИ

Небольшим фермерским хозяйствам и мелким предприятиям, занимающимся производством и переработкой зерновой продукции, экономически выгодно самим выполнять сушку влажного зерна. Однако существующие устройства для тепловой обработки относительно энергозатратны и не всегда обеспечивают должное качество готового продукта, поскольку в них наблюдается пересушивание зерна, растрескивание его поверхностных слоев вследствие неравномерности и инертности нагрева в процессе обработки [1].

Отсутствие малогабаритной, универсальной и высокоэффективной (лишенной отмеченных недостатков) техники для тепловой обработки и переработки небольших объемов зерна сдерживает развитие небольших фермерских хозяйств, кооперативов и мелких перерабатывающих предприятий. В этой связи создание энергосберегающих средств механизации тепловой обработки зерна, адаптированных к условиям мелкотоварного сельскохозяйственного производства, является актуальной и важной научно-технической задачей.

Для решения обозначенной задачи авторы статьи проводят исследования, в процессе которых решаются научно-практические вопросы, в том числе: создание кассетного устройства для сушки зерна; разработка методики проведения исследований процесса сушки зерна; исследование удельного электропотребления при сушке зерна; выполнение лабораторных и производственных исследований для подтверждения достоверности теоретических предпосылок, а также для оценки экономической эффективности применения вновь созданного

Список литературы

1. Баадер, В. Биогаз: теория и практика / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер. — М.: Колос, 1982. — 148 с.
2. Ковалёв, А.А. Энергетические аспекты использования биомассы на животноводческих фермах России / А.А. Ковалёв // Российский химический журнал. — 1997. — Т. 41. — № 6. — С. 100–104.
3. Осмонов, О.М. Основы инженерного расчета гелиобиоэнергетических установок: научн. изд. / О.М. Осмонов. — М.: Издат.-аналитический центр «Энергия», 2011. — 176 с.

устройства; разработка рекомендаций по использованию устройства в условиях фермерских хозяйств и небольших зернопроизводящих предприятий.

Из намеченных для решения вопросов большинство уже имеет практическую реализацию [2]. Кассетное устройство для сушки зерна (в тексте статьи *устройство*) запатентовано решением от 13.01.2012 № 2011139529 о выдаче патента на полезную модель и решение от 08.02.2012 № 2011503329 о выдаче патента на промышленный образец.

На рисунке представлен чертеж устройства, детально раскрывающий конструктивное его содержание: заслонка 1, с помощью которой регулируется расход воздуха; вентилятор 2 для прокачки воздуха через теплогенератор 3, в котором установлены тэны 4, преобразующие электрическую энергию в тепловую; воздухопровод 5 с расположенными в нем термодатчиками 6; загрузочный бункер 7 с заслонкой 8; раскрывающиеся створки 9 для выгрузки просушенного зерна; турбулизатор 10 для перемешивания слоев воздуха с различной температурой; утеплитель 11; кассета 12, представляющая собой металлический короб, у которого передняя и задняя стенки выполнены из сетки, сверху расположено загрузочное, а внизу — разгрузочное отверстие.

Принцип работы устройства таков. Устанавливают кассету 12. Загрузочный бункер 7 заполняют просушиваемым зерном. Выдвигают заслонку 8 и заполняют кассету зерном. Открывают заслонку 1 вентилятора 2. Включают вентилятор и тэны посредством щита управления (см. рисунок), оснащенного электросчетчиком, вольтметром, ампер-