

## НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО ТРАДИОННЫМ БИОГАЗОВЫМ УСТАНОВКАМ, И ВОЗМОЖНОСТИ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ЭТИХ УСТАНОВОК

Г.Б. Осадчий, инженер

В условиях постоянного повышения цен на ископаемые энергоносители, а также истощение запасов нефти и газа все большее количество стран развивают альтернативные источники энергии.

Одним из таких видов является биогаз. Глубокие исследования в этой области, несмотря на известные трудности, проводятся в Республике Казахстан. В значительно меньшей степени это относится к России, хотя полномасштабное развитие биогазовой отрасли РФ позволило бы решить ряд важных экономических задач. В частности, привело бы к снижению задолженности потребителей за газ, которая у нас на 1 апреля 2014 г. составила 141,6 млрд рублей [1].

Следует отметить, что основным недостатком биогазовой энергетики является значительный вес удельных капитальных затрат (в расчете на единицу мощности), невысокая рентабельность проектов, а также проблемы с организацией сбыта энергии посредством централизованных сетей.

Несмотря на это, в России наблюдается увеличение спроса на биогазовые установки (БГУ), как для малых потребителей (с объемом метантенка 3 – 20 м<sup>3</sup>), так и для средних (с объемом метантенка 30 – 100 м<sup>3</sup>).

Все дело в том, что биогазовые технологии должным образом вписываются в Доктрину ООН *устойчивого развития общества*. И многие, в России, привержены этой идеи. И они, руководствуясь принципом «*Рассудок — это неуклюжее орудие ученого; интуиция — безошибочный руководитель провидца*» пытаются, каждый по своему, решать эту проблему.

Современные технологии (производства), по возможности, должны быть связаны между собой таким образом, что *конечный цикл* одного из них *становится началом* другого цикла, благодаря чему достигается практически полная безотходность и интенсификация производства *на достаточном удалении от границ динамической устойчивости экосистем*.

**По мнению экспертов ООН**, именно такой комплексный подход, когда осуществляется схема подбора предприятий и производств, работающих на одном виде сырья, а отходы и побочные продукты одного производства выступают в качестве сырья или полуфабрикатов для другого, может полностью решить проблему *устойчивого развития общества*.

Известно, что животные не полностью усваивают энергию растительных кормов и более половины её уходит в навоз, который является, после того или иного вида переработки, ценным органическим удобрением.

Содержание животных на фермах и комплексах привело к увеличению концентрации объемов навоза и навозных стоков в хозяйствах. А это дает возможность организовать их переработку не только в удобрения, но и в биогаз, не загрязняя окружающую среду. При этом биогаз по сути своей становится **рукотворным** возобновляемым источником энергии (ВИЭ).

Комплексный подход в производственной деятельности, когда «отходы», в том числе органические, тепловые, водные, газо-воздушные перерабатываются в технологической цепочке производства, минимально отражается на качестве окружающей среды, на продуктивности зональных экосистем. Комплексный подход, это не что-то новое. В целом «эволюционные» и «революционные» изменения в том числе в сфере энергетики взаимообусловлены, дополняют и нередко сменяют друг друга. Не исключаются и случаи возврата к «старым» техническим решениям на качественно новой технологической базе.

Обычно под биогазовой установкой (станцией) подразумевается комплекс инженерных сооружений, состоящий из устройств:

- подготовки сырья
- производства биогаза и удобрений
- очистки и хранения биогаза
- производства электроэнергии и тепла
- автоматизированной системы управления БГУ.

Метантенк БГУ должен быть герметичен, в него не должно быть доступа кислорода, так как только при отсутствии кислорода возможна жизнедеятельность метанообразующих бактерий.

Оптимальная температура метаногенеза зависит от вида перерабатываемого установкой субстрата (органических отходов).

Контрольно-измерительные приборы, устанавливаемые на метантенке, должны обеспечивать контроль уровня субстрата в метантенке, температуры и давления внутри него.

Современные технологии позволяют перерабатывать в биогаз любые виды органического сырья, однако наиболее эффективно использование биогазовых технологий для переработки отходов животноводческих и птицеводческих ферм и сточных вод, так как они характеризуются постоянством потока отходов во времени и простотой их сбора. *При этом навоз и помет должны поступать с ферм и из хозяйств, благополучных по зооантропонозным заболеваниям, общим для животных (птицы) и человека.*

Поскольку сырьем для получения биогаза может служить широкий спектр органических отходов, на многих существующих биогазовых установках используется добавка к обрабатываемым отходам, так называемой зеленой массы. Конечно, измельчение зеленой массы приводит к дополнительным затратам энергии.

Активный обмен веществ и высокая скорость биохимических обменных процессов в метантенке достигается, за счет максимального поддержания и непрерывного обновления величин 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 биогаза. Современный уровень развития БГУ позволяет перерабатывать субстраты с содержанием сухого вещества до 12 %, если размер волокнистых или стеблевых элементов не превышает 30 мм.

В метантенке необходимо организовать периодическое перемешивание субстрата, которое обеспечивает эффективную и стабильную работу БГУ.

*Цель перемешивания - высвобождение образованного биогаза, перемешивание свежего субстрата и бактерий (прививка), предотвращение образования корки и осадка, недопущение образования участков разной температуры внутри метантенка, обеспечение равномерного распределения популяции бактерий, предотвращение формирования пустот и скоплений, уменьшающих эффективную площадь метантенка. При выборе метода перемешивания нужно учитывать, что процесс сбраживания представляет собой процесс жизнедеятельности симбиоза различных штаммов бактерий и при разрушении этого сообщества процесс ферментации будет непродуктивным до образования нового сообщества бактерий. Поэтому слишком частое или продолжительное перемешивание вредно. Рекомендуется медленное перемешивание субстрата через каждые 4 – 6 ч.*

*Оптимальное перемешивание сырья повышает выход биогаза до 50%.*

БГУ обеспечивают утилизацию (переработку) органических отходов 3 и 4 класса опасности согласно Постановлению от 12 июля 2003 г. №344, в следующих режимах:

- в психрофильном режиме оптимальная температура в метантенке 15 – 20 °С, но может быть и ниже. В таком режиме отходы перерабатываются 30 – 40 дней. Психрофильный режим обычно используется в летнее время года в случае, когда тепло и количество субстрата (отходов) значительно меньше обычного, например, из-за выпаса скота;
- в мезофильном режиме при температуре 30 – 40 °С органические отходы перерабатываются 7 – 15 дней, в зависимости от вида отходов;
- в термофильном режиме при температуре 52 – 56 °С органические отходы перерабатываются за 5 – 10 дней, при этом качество газа и удобрений, по ряду показателей, обычно ниже, чем в мезофильном режиме. Кроме того в термофильном режиме традиционно потребляется больше энергии для обогрева. Такой режим подходит большего всего тем, у кого основная задача — переработать большое количество отходов. При оптимизации работы установки и состава отходов, можно ускорить переработку даже до 3 – 4 дней. *Выгода от работы в термофильном режиме в том, что резко снижается стоимость 1 кВт установленной мощности БГУ.*

Требования к допустимым пределам колебания температуры субстрата, для оптимального газообразования, тем жестче, чем выше температура процесса ферментации: при психрофильном температурном режиме –  $\pm 2$  °С в час; мезофильном –  $\pm 1$  °С в час; термофильный –  $\pm 0,5$  °С в час.

Поскольку, например, в московском регионе среднегодовая температура исходного субстрата, составляет около 10 °С, а температура окружающей среды, около 4 °С, то необходимость в системе подогрева субстрата и поддержания его температуры в процессе ферментации очевидна. По данным А.А. Ковалева [2] до 60% полученного биогаза тратится на собственные нужды БГУ. При этом, наиболее энергоемким является процесс нагрева субстрата, суточной дозы загрузки метантенка, на который идет около 95% энергии, расходуемой на собственные нужды установки.

Наиболее распространенной системой подогрева является внешняя система подогрева с водонагревательным котлом (котельной установкой), работающим на биогазе, электричестве или твердом топливе, где теплоносителем является вода с температурой около 60 °С. Более высокая температура теплоносителя, повышает риск налипания взвешенных частиц на поверхности теплообменника — теплообменники рекомендуется располагать в зоне действия перемешивающего устройства.

БГУ должна быть автоматизирована. Объем автоматически выполняемых операций биогазовых установок различного назначения может быть различен. В обязательный объем автоматизации входят:

- для биогазовых установок небольшой мощности:

при срабатывании датчика загазованности (газоанализатора) помещения автоматически включаются системы оповещения персонала (сигнальные лампы, электрические звонки и др.) и происходит аварийное отключение систем БГУ, в частности срабатывает предохранительный клапан, перекрывающий подачу газа;

при срабатывании любого теплового реле в цепях питания насосов циркуляционного, водяного или загрузочного включаются системы аварийного оповещения персонала.

По данным И. Егорова, директора биогазовых проектов АEnergy, составляющие положительного денежного потока биогазовых проектов могут быть следующими (таблица 1), при гарантированной надежности и долговечности надежной работы БГУ, за счет использования метантенка из эмалированной стали, в течение 40 лет.

**Таблица 1 – Составляющие положительного денежного потока биогазовых проектов**

Составляющая	Доля в структуре выручки
Продажа электроэнергии	60-75%
Продажа тепловой энергии	10-20%
Снижение платы за технологическое присоединение (для новых и расширяющихся предприятий)	0-50%
Продажа мощности	0-30%
Продажа удобрений	10-30%
Снижение экологических платежей	0-20%
Продажа углеродных квот	0-10%*

\*Производство 1000 м куб. биогаза обеспечивает замещение 10 т выбросов CO<sub>2</sub>. Средняя рыночная цена 1 т CO<sub>2</sub> сегодня составляет 10 Евро.

Мы рассмотрим традиционную БГУ и БГУ метантенк, которой размещен на дне солнечного соляного пруда (ССП) [3].

**Сравнительному анализу видов затрат, связанных с сооружением БГУ, будет подвергнута метантенки этих БГУ и сооружения и оборудование (устройства) непосредственно с ними связанные.**

В качестве исходных данных для анализа принимаем следующее.

В состав биогаза входит, примерно, 55 – 60% биометана и 40 – 45% углекислого газа. На этом газу могут работать бытовые газовые приборы, включая газовые водонагреватели, обогреватели воздуха и газогенераторы.

Биометан – продукт, получаемый путем очищения биогаза от  $\text{CO}_2$ , используемый как биотопливо (ГОСТ Р 52808-2007).

Биогаз легче воздуха (1,05 – 1,2 кг/м<sup>3</sup>), поэтому стремится вверх.

Роспотребнадзор регламентирует, к какому классу принадлежат те или иные виды отходов, образованные вследствие выращивания животных и производства продукции животноводства и птицеводства. Все отходы производства и потребления делят на 4 класса опасности: 1 – чрезвычайно опасные, 2 – высоко опасные, 3 – умеренно опасные и 4 - малоопасные.

Органы ФНС осуществляя плановые проверки объектов хозяйственной и иной деятельности независимо от форм собственности с целью государственного экологического контроля, принимают решения по отчислениям, по уплате экологического налога. Несмотря на то, что экологический налог нельзя считать обременительным, и он существенно не влияет на конкурентоспособность отечественной животноводческой продукции, для отдельных категорий товаропроизводителей (животноводческих комплексов и птицекомбинатов) экологический налог является одним из основных видом обязательных платежей государству.

Удобрения (эффлюент), получаемые при термофильном режиме ферментации экологически чистые, лишены нитритов, семян сорняков, болезнетворной микрофлоры, специфических запахов. Для остальных режимов перечисленные характеристики удобрений значительно ниже.

Оборудование по подготовке и предварительной обработке сырья для: перемешивания субстрата; измельчения; сепарации примесей на входе в реактор; загрузки (подача и дозирование) сбрасывающей суспензии у сравниваемых метантенков условно принимаем одинаковым.

В комплект этого оборудования для традиционной БГУ может входить агрегат для размораживания сырья (навоза).

В помещении, где размещен традиционный метантенк, по ГОСТ Р 53790-2010 должны находиться:

- комплект противопожарного инвентаря;
- диэлектрические перчатки и ковры у щитов управления электроагрегатами;
- газоанализаторы или газосигнализаторы;
- средства индивидуальной защиты;
- взрывобезопасные аккумуляторные фонари;
- аптечка первой доврачебной помощи.

Не допускается нахождение работников и проведение любых работ в помещении метантенка при неработающей вентиляции.

Электротехническое оборудование и обслуживаемое помещение метантенка должны быть оборудованы резервным электропитанием, чтобы обеспечить постоянную работу вентиляторов с необходимой кратностью воздухообмена.

Контролировать концентрацию газов в воздухе помещения метантенка с помощью газоанализаторов.

В обслуживаемом помещении метантенка электрическое освещение, электродвигатели, пусковые и токопитающие устройства и аппаратура должны выполняться во взрывозащищенном исполнении в соответствии с классом взрывоопасной зоны (категории помещения).

Отвод газа от метантенка, устройство и эксплуатация газгольдеров и газовой сети метантенка должны проводиться в соответствии с требованиями Правил безопасности в газовом хозяйстве и Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.

Оптимальный способ накопления биогаза зависит от того, для каких целей будет использован биогаз. При прямом сжигании биогаза в горелках котлов и двигателях внутреннего сгорания не требуются большие газгольдеры. В этих случаях газгольдеры должны обеспечивать выравнивание неравномерностей газовыделения и улучшения условий последующего горения, в зависимости от типа газгольдера и выдерживаемого им давления объем газгольдера составляет от 1/5 до 1/3 объема реактора. Пластиковые газгольдеры применяют для сбора биогаза в простых, совмещенных установках, где пластиком покрывают открытую емкость, служащую в качестве реактора, или отдельный пластиковый газгольдер соединяют с реактором. Газгольдер должен вмещать суточный объем, вырабатываемого биогаза. Стальные газгольдеры делят на газгольдеры низкого ( $0,01-0,05 \text{ кгс/см}^2$ ), среднего ( $8-10 \text{ кгс/см}^2$ ) и высокого ( $200 \text{ кгс/см}^2$ ) давления. Стальные газгольдеры низкого давления оправданы только в случае большого расстояния (минимум 50-100 м) от установки до использующих биогаз приборов. В других случаях следует рассматривать возможность использования более дешевого пластикового газгольдера.

В газгольдеры среднего и высокого давления газ закачивается с помощью компрессора. Газгольдеры высокого давления используют для заправки автомашин и баллонов. Контрольно-измерительные приборы, устанавливаемые на газгольдеры, должны включать в себя водяной затвор, предохранительный клапан, манометр и редуктор давления. Стальные газгольдеры должны быть заземлены.

Привлекательно применение биогаза для факельного обогрева теплиц. Кроме поступления углекислого газа из газгольдера происходит образование углекислого газа при сгорании биометана, производится освещение теплиц и одновременно образуется вода, увлажняющая воздух.

*Еще одно направление использования составных компонентов биогаза — утилизация углекислого газа, содержащегося в нем в количестве около 40*

*%.* Извлекая углекислый газ путем отмывки (в отличие от биометана он растворяется в воде), можно подавать его в теплицы, где он служит «воздушным удобрением», увеличивая продуктивность растений.

В таблице 2 приведен перечень основных видов сооружений, оборудования и контрольно-измерительных приборов, входящий в зависимости типа метантенка в БГУ, затраты (стоимость) на которые должны учитываться при выборе БГУ.

**Таблица 2 – Перечень основных необходимых для размещения и работы метантенка сооружений, оборудования, контрольно- измерительных приборов и их технические характеристики.**

Тип БГУ	Необходимость для эксплуатации метантенка	Примечание
<b>Метантенк</b>		
традиционная	Да	*
с ССП	Да	С обечайкой *
*климатическое исполнение Т по ГОСТ 15150-69		
Здание (помещение) для размещения метантенка		
традиционная	Да	*, **
с ССП	Нет	
*категория размещения 4 (от минус 40 до +40 °С) по ГОСТ 15150-69 (эксплуатация в помещениях (объемах) с искусственно регулируемые климатическими условиями, например в закрытых отапливаемых или охлаждаемых и вентилируемых производственных и других, в том числе хорошо вентилируемых подземных помещениях (отсутствие воздействия прямого солнечного излучения, атмосферных осадков, ветра, песка и пыли наружного воздуха; отсутствие или существенное уменьшение воздействия рассеянного солнечного излучения и конденсации влаги))		
**Категория помещения А — взрывопожароопасная (НПБ 105-95 Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. НОРМЫ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МВД РОССИИ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ). Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении: Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.		
<b>Биогазовая котельная установка</b>		
традиционная	Да	Должна быть в отдельном помещении
с ССП	Нет	
Система подогрева субстрата от теплоносителя биогазовой котельной установки		
традиционная	Да	*
с ССП	Нет	**
*непрямой подогрев через теплообменник, где подогревающий теплоноситель, обычно горячая вода, подогревает субстрат, не смешиваясь с ним.		
**требуется система подогрева субстрата от теплоты рассола солнечного соляного пруда.		
<b>Система вентиляции с резервным электропитанием</b>		
традиционная	Да	
с ССП	Нет	
<b>Система механизации и автоматизации</b>		
традиционная	Да	Вся во взрывозащищенном исполнении
с ССП	Да	Часть во взрывозащищенном исполнении

Система контроля концентрации газов в воздухе помещения метантенка		
традиционная	Да	
с ССП	Нет	*
*контроль герметичности метантенка осуществляется по отсутствию/наличию пузырьков биогаза, поднимающегося на поверхность зеркала ССП.		
Солнечный соляной пруд		
традиционная	Нет	
с ССП	Да	* Дополнительные функции, в примечании к таблице *
*категория размещения 1 (от минус 10 до +40 °С) по ГОСТ 15150-69 (эксплуатация на открытом воздухе (воздействие совокупности климатических факторов, характерных для данного макроклиматического района))		
Оборудование для размораживания сырья зимой		
традиционная	Да	
с ССП	Нет	
Система пожаротушения		
традиционная	Да	
с ССП	Нет	Для БГУ в целом с учетом *
Навес (помещение) для пульта управления		
традиционная	Нет	В здании где размещен метантенк
с ССП	Да	
Соответствие перечня сооружений, оборудования, контрольно-измерительных приборов назначению, исходя из конструктивных особенностей БГУ		
традиционная	Да	
с ССП	Да	

Примечание \*. Поскольку солнечный соляной пруд может одновременно являться и противопожарным водоемом, изменение потребности в капитальных вложениях, для биогазовой установки может быть учтено как предотвращенный расход части средств на водоем, благодаря использованию для этих целей пруда. Так к пожароопасным помещениям: класса П-II относятся малозапыленные помещения мельниц и элеваторов, зернохранилища; класса П-III относятся складские помещения для хранения горючих материалов, коровники, свинарники и другие животноводческие помещения при хранении на чердаках сена и соломы и т.д.

Ущерб от лесных пожаров в 2010 г., с учетом уничтоженных огнем деревень, составил свыше 15 млрд рублей.

Объем противопожарного водоема для сельского дома должен быть таким, чтобы при тушении пожара расход воды был не менее 10 л/с в течение 3 часов. Объем воды в водоеме должен быть более 100 м<sup>3</sup>.

Поскольку БГУ должна располагаться, по возможности, ближе к источникам перерабатываемого сырья (местам содержания животных, складирования отходов и т.д.), то тепловую энергию ССП можно будет использовать для горячего водоснабжения ферм, предотвращая использование биогаза для этих целей.

Примечание: Например, выгоднее, если емкость для смешивания сырья напрямую соединяется с полом фермы. Транспорт биогаза дешевле, чем транспортировка сырья.

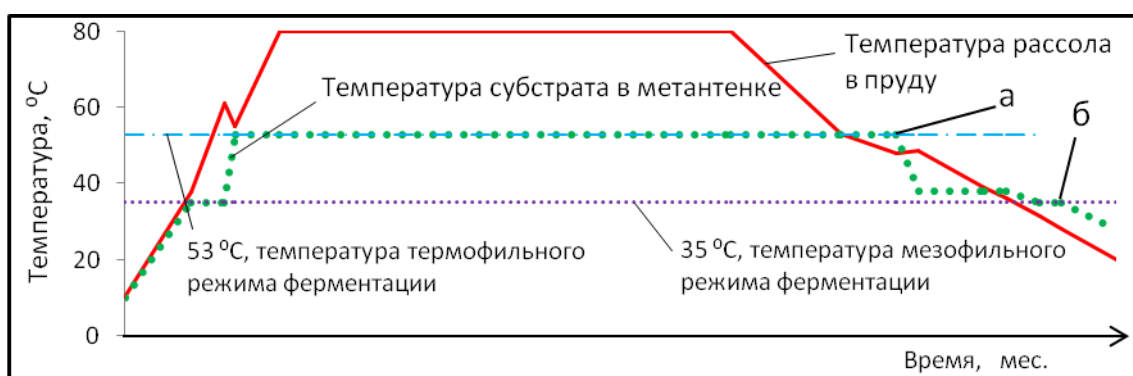


Надежное, круглосуточное горячее водоснабжение будет исключать разрастания колоний возбудителя легионеллеза (*Legionella pneumophila*). По санитарным нормам СанПиН 2.1.4.2496-09 «Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения» температура воды в системе горячего водоснабжения должна быть более 60 °С. В системе холодного водоснабжения менее 20 °С.

Примечание: Легионеллы — это бактерии, которые живут в естественных источниках воды. Даже самая совершенная система водоочистки не способна защитить от их возникновения. Попадая в благоприятные условия водопровода (температура 25 – 45 °С), они начинают размножаться. Заражение человека происходит при вдыхании мелких капель воды, содержащих бактерии, в том числе, например, при принятии душа.

Это позволяет существенно снизить суточную потребность домашнего хозяйства в биогазе для приготовления пищи и подогрева воды, Обычно она составляет 2 - 3 м<sup>3</sup> природного газа, в сутки. Это эквивалентно 3,5 – 5 м<sup>3</sup> и биогаза.

Поскольку подогрев субстрата в метантенке, размещенном на дне ССП осуществляется от теплоты рассола пруда, то режимы ферментации в нем в течение летнего периода различны. Они зависят от температуры, которой обладает рассол (рисунок 1).



а – точка окончания ферментации в термофильном режиме при температуре 53 °С,

б – точка окончания ферментации в мезофильном режиме при температуре 35 °С.

**Рисунок 1 – Гипотетическое изменение режимов ферментации в метантенке биогазовой установки на базе солнечного соляного пруда в России в течение летнего периода**

Весной при переходе с мезофильного на термофильный режим (левая часть рисунка 1), для повышения температуры субстрата в метантенке объемом 20 м<sup>3</sup> с 35 до 53 °С требуется около 420 кВт·ч теплоты. При использовании для этой цели теплоты рассола пруда площадью 78,5 м<sup>2</sup> (диаметр пруда 10 м) температура рассола понизится примерно на 6 °С.

Осенью, когда температура в ССП понижается, для поддержания эффективного температурного режима анаэробной обработки отходов животноводства к ним можно добавлять высокоэнергетические компоненты, увеличивающие выделение экзотермической теплоты при ферментации (сахарный жом, отходы пищевой промышленности с высоким содержанием жиров, силос, клеверозлаковая смесь и т.п.). Положение точек а и б (рис. 1) зависит от экзотермической теплоты ферментации (от деятельности бактерий).

То, что работа в термофильном режиме и использование теплоты рассола ССП, вместо биогаза, для поддержания температуры ферментации

имеет свои неоспоримые преимущества, подтверждается результатами испытаний БГУ в фермерском хозяйстве Республики Казахстан.

Испытания были проведены сотрудниками Казахского научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства (КазНИИМЭСХ), Барковым В.И., Токмолдаевым А.Б., Аблинановым В.А. и Сарыбаевым Б.А. [4]

Поскольку эти испытания наглядно отражают приведенные выше плюсы и минусы традиционных БГУ, приведем их максимально подробно.

Биореактор испытывался в режиме биообработки жидкого навоза КРС, поступающего на обработку из коровника на 40 голов. Технология содержания животных — смешанная (стойлово-выгульная).

Результаты испытаний и определения технологических параметров БГУ приведены на рисунках 2 и 3.

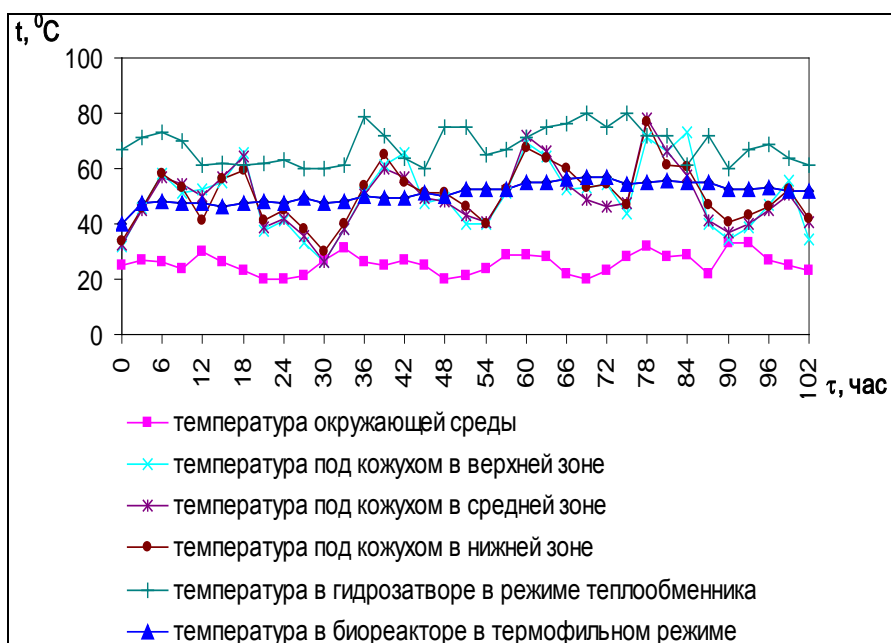


Рисунок 2 – Зависимости параметров метантенка от времени при нагреве в термофильном режиме

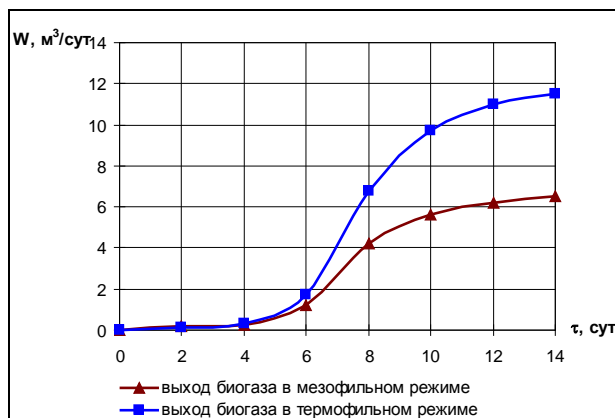


Рисунок 3 – Выход биогаза в мезофильном и термофильном режимах

Анализ данных испытаний метантенка показывает, что время нагрева субстрата до мезофильной температуры составляет – 46 часов, а до термофильной температуры – 68 часа. Суточный расход твердого топлива (кизяка) составляет – 31 кг/сут., КПД топливного котла – 78,5 %. Производительность по навозу составляет 0,5 – 0,7 т/сут., по биогазу – 6,5...11,5 м<sup>3</sup>/сут. Выход биогаза в мезофильном режиме составляет 6,5 м<sup>3</sup>/сут., в термофильном режиме – 11,5 м<sup>3</sup>/сут. (рисунки 2 и 3).

При работе гидрозатвора в режиме теплообменника температура теплоносителя в нем колеблется в пределах 49 – 65 °С, температура в загрузочной камере — 34 – 40 °С, а в разгрузочной камере — 32 – 40 °С.

Исследования зависимости расхода биогаза при установке в топливном котле факельной и керамической горелок показали, что суточный расход биогаза с факельной газовой горелкой составляет 6,17 м<sup>3</sup>/сут (0,257 м<sup>3</sup>/час), а с керамической газовой горелкой – 4,8 м<sup>3</sup>/сут (0,2 м<sup>3</sup>/час).

Химический анализ проб органического удобрения, отобранных в процессе работы биогазовой установки (проба №1 – исходный навоз с влажностью 90 %, проба №2 – готовое органическое удобрение) показал высокое содержание питательных веществ (таблица 3).

**Таблица 3 – Содержание питательных веществ в органическом удобрении**

Проба	рН среды	Содержание, г/кг (%)		
		Азот N <sub>общ</sub>	Фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Калий (K <sub>2</sub> O)
№1	7,0	21,56 (2,156%)	29,6 (2,96%)	48,0 (4,8%)
№2	7,2	16,52 (1,652%)	23,2 (2,32%)	21,6 (2,16%)

В 1 т сухого органического удобрения содержится: 16,52 кг азота (N), 23,2 кг фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 21,6 кг калия (K<sub>2</sub>O).

Анализ патогенной микрофлоры в органическом удобрении и эффективность обеззараживания, наличие яиц гельминтов и семян сорняков приведены в таблице 4.

Общее микробное обсеменение исходного навоза (коли-индекс) – 10<sup>9</sup> КОЕ, после анаэробного сбраживания в биогазовой установке общее микробное обсеменение готового органического удобрения снизилось до 10<sup>7</sup> КОЕ, таким образом, степень обеззараживания навоза в биогазовой установке составляет 99%. В органическом удобрении отсутствуют яйца гельминтов, а семена сорных растений полностью потеряли всхожесть.

**Таблица 4 – Анализ патогенной микрофлоры в органическом удобрении и эффективность обеззараживания, наличие яиц гельминтов и семян сорняков**

Про-ба	Бактериальна-я обсеменен-ность, колоний/см <sup>3</sup>	Коли-индекс*, бактерий/дм <sup>3</sup>	Коли-титр	Эффективность обеззараживания, %		
				по наличию		
				бактериаль-ной обсеменен-ности	яиц гельминтов, шт/дм <sup>3</sup>	семян сорняков, шт/см <sup>3</sup>
№ 1	10 <sup>9</sup> КОЕ	10 <sup>10</sup> КОЕ	3x10 <sup>5</sup> КОЕ	-	наличие	наличие
№ 2	10 <sup>7</sup> КОЕ	10 <sup>5</sup> КОЕ	3x10 <sup>3</sup> КОЕ	99	отсутствую-т	потеря всхожест-и

\*коли-индекс: количество бактерий группы кишечных палочек в 1 дм<sup>3</sup> воды.

По результатам авторами сделаны Выводы. В результате испытаний установлено, что биогазовая установка соответствует требованиям ГОСТ 31343-2007.

Производительность установки по биогазу составляет — 6,5 – 11,5 м<sup>3</sup>/сут., по удобрению — 0,5 – 0,7 т/сут., объем биореактора — 5 м<sup>3</sup>, температура субстрата в биореакторе соответствует термофильному режиму — 52 – 54 °С, расход биогаза на нагрев — 6,2 м<sup>3</sup>/сут, доза загрузки — 10 %, плотность полученного удобрения — 964,9 кг/м<sup>3</sup>, массовая доля сухого вещества — 4,7 %, эффективность обеззараживания навоза — 99 %.

По результатам приведенной в Казахстане работы следует, что для БГУ метантенк, которой размещен в ССП, для ускорения начала термофильного режима весной и мезофильного осенью (рисунок 1), снижения времени перерыва в выработке биогаза, целесообразно готовить в термостатированной емкости субстрат с колонией термофильных (мезофильных) бактерий анаэробного вида.

Наиболее типичными видами термофильных бактерий являются *Methanobacterium soehngenii* и *Methanobacillus omelianskii*. Термофильные метановые бактерии обычно сопутствуют анаэробным целлюлозным бактериям или культивируются совместно с ними. Температурная граница их развития 45 – 69 °С. Особенность этих бактерий — их высокая скорость роста благодаря ускоренному обмену веществ. Наступление неблагоприятной (низкой) температуры переводит их в стадию покоя, в которой они могут пребывать неопределенное время.

А мезофильные бактерии, лучше всего растут (их оптимум для роста) в температурных пределах 20 – 45 °С. Свободноживущие мезофилы в холодные сезоны года неактивны. Ниже и выше температуры 20 – 45 °С они находятся в состоянии покоя или смерти в зависимости от видовой принадлежности.

Поскольку в соответствии с таблицей 2 метантенки рассматриваемых БГУ различны, то различны и устройства (сооружения) непосредственно с ними связанные. Исходя из этого необходимые, для эксплуатации этих различных БГУ, разрешительных документов должны быть различны, как по видам (структуре), так и по стоимости.

В связи с тем, что БГУ обоих типов могут работать как в мезофильном, так и в термофильном режимах ферментации, вырабатываемые ими 2 вида удобрений будут одинаковы (таблица 5).

Различие будет в товарных объемах этих видов удобрений и биогаза (биометана), поскольку в традиционной БГУ значительная часть биогаза используется на поддержание температуры термофильного режима, а это не всегда приветствуется в хозяйствах и часто будет вынуждать собственника БГУ переходить на мезофильный режим работы.

**Таблица 5 – Перечень видов продукции (удобрений), вырабатываемой при эксплуатации биогазовых установок, и области их использования.**

Тип БГУ	Режим ферментации	Удобрение	Стоимость, у.е./кг	Область использования
Традиционная	мезофильный	Эффлюент*	1 у.е.	Только в полевых условиях*
	термофильный	Эффлюент обеззараженный	1,5 у.е.	В том числе в домашнем цветоводстве
с ССП	мезофильный	Эффлюент*	1 у.е.	Только в полевых условиях*
	термофильный	Эффлюент обеззараженный	1,5 у.е.	В том числе в домашнем цветоводстве

\*разложенный в результате ферментации при мезофильном режиме органический материал может содержать вредоносную флору, т.к. невысокая температура в метантенке не обеспечивает 100 % стерильности. В соответствии с пунктом 2.3 санитарных правил СП 1.2.1170-02 (*Органические и азотсодержащие минеральные удобрения*) навоз и куриный помет, используемые для обогащения почвы азотом и другими элементами питания, должны подвергаться предварительному обезвреживанию (термической сушке, компостированию и др.). Соответствовать требованиям действующих нормативных документов, не содержать патогенной микрофлоры, в т.ч. сальмонелл, и жизнеспособных яиц гельминтов.

Одним из аргументов повышения стоимости эффлюента, полученного при термофильном режиме является потеря всхожести семян сорняков

В таблице 6, из ГОСТ 31343-2007, приведены оценки всхожести семян сорняков, и далее приведены примеры по методам оценки.

**Таблица 6 – Шкала оценки по запасам всхожести семян сорняков**

Запас всхожих семян	Интервалы классов численностью, тыс. всхожих семян в 1 т удобрений		
	Бесподстилочный навоз влажностью, %		
	менее 90, полужидкий	от 90 до 93, жидкий	более 93, навозные стоки
Низкий	Менее 30	Менее 20	Менее 17
Средний	30-100	20-60	17-50
Высокий	100-300	60-100	50-100
Очень высокий	Более 300	Более 100	Более 100

Многочисленные анализы навоза, компостов и других удобрений показывают, что всхожесть семян основных видов сорняков составляет от 10% до 30%. Поэтому в отдельных случаях допускается оценка органических удобрений по общему запасу семян. Для этого может быть использована

предложенная шкала (таблица 6). При этом полученный результат анализов необходимо разделить на 10.

**Пример - В 1 т подстилочного навоза содержится 5,1 млн семян сорняков. Для оценки качества такого навоза по предлагаемой шкале 5,1 млн разделить на 10, получим 510 тысяч. Содержание семян сорных растений в таком навозе оценивается в 3 балла (высокий запас семян). Следовательно, внесение такого навоза в почву создает сильную засоренность посевов.**

Исходя из этого самое главное — разработка и регистрация стандарта предприятия на эффлюент (effluent) — органическое удобрение, полученное в результате анаэробной переработки органических отходов в метантенках (фугата (fugat) – жидкой фракции эффлюента, шлама (schlam) – твердой фракции эффлюента) (ГОСТ Р 52808-2007).

Ведь только при условии надлежащей реализации эффлюента возможен коммерческий успех любого биогазового проекта.

Для успешной эксплуатации БГУ, необходимо:

заключение долгосрочного договора на утилизацию органических отходов 3 и 4 класса опасности согласно Постановлению от 12 июля 2003 г. №344;  
заключение долгосрочного договора с сетью оптовой и розничной торговли на покупку органических удобрений по ценам, соответствующим цене замещаемым минеральным удобрениям с учетом класса опасности (гигиенический сертификат) в т.ч. для комнатных растений.

Для этого необходимы разрешительные документы (таблица 7).

**Таблица 7 – Перечень необходимых разрешительных документов (гигиенических сертификатов) для использования в личных целях и реализации на потребительском рынке продукции, вырабатываемой биогазовыми установками.**

Вид (тип удобрения)	Вид разрешительного документа	Примечание
фугат (fugat) – жидкая фракция эффлюента шлам (schlam) – твердая фракция эффлюента	Сертификат*	Для термофильного режима ферментации
фугат (fugat) – жидкая фракция эффлюента шлам (schlam) – твердая фракция эффлюента	Сертификат*	Для мезофильного режима ферментации
*ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии РАСХН. Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН. (разработка технологии производства Комплексных микробиологических удобрений из переброженной массы БГУ. Лабораторные исследования отходов, почв, удобрений, сертификация биоудобрений)		

В качестве разрешительных документов (заключений, рекомендаций) ряд организаций использует:

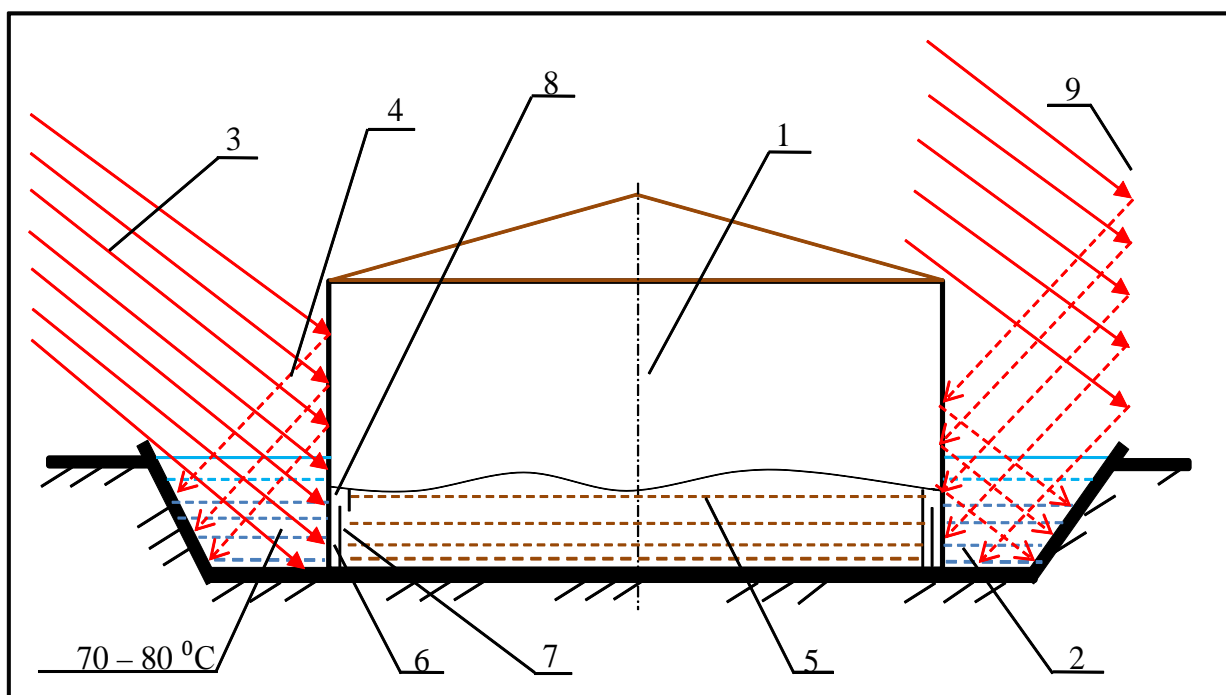
санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека;

протоколы испытаний аккредитованных лабораторий и центров экспертизы;

рекомендации и заключения ведущих научно-исследовательских организаций, в том числе Заключение Российского Государственного Аграрного Университета – МСХА имени К.А.Тимирязева; заключение экологического факультета Российского Университета Дружбы Народов.

Исходя из проведенного анализа, перспективным представляется, более расширенное использования солнечной энергии, аккумулированной солнечным соляным прудом, по сравнению с приведенным в [5].

Энергию солнечного соляного рва (пруда в форме кольца, охватывающего придонную боковую поверхность метантенка) можно использовать для подогрева субстрата и для больших биогазовых установок (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Схема метантенка большого объема с солнечным соляным рвом**

1 – метантенк, 2 – солнечный соляной ров ( кольцевой пруд), 3 – прямое солнечное излучение, 4 – отраженное солнечное излучение, 5 – субстрат, 6 – наружный кольцевой зазор между солнечным соляным рвом 2 и внутренним объемом метантенка 1, 7 – внутренний кольцевой зазор между солнечным соляным рвом 2 и внутренним объемом метантенка 1, 8 – теплоизоляция метантенка 1, 9 – отражатель солнечного излучения.

Метантенк 1 (рис. 4) размещен на дне пруда 2, в который поступает прямое солнечное излучение 3 и отраженное от боковой наружной поверхности метантенка 1 солнечное излучение 4.

Поддержание необходимой температуры ферментации в метантенке 1, за счет использования солнечной энергии (теплоты рассола рва 2) обеспечивается следующим образом.

При заполнении наружного 6 и внутреннего 7 кольцевых зазоров водой поступление тепла из солнечного соляного пруда 2 к субстрату 5 в метантенке 1 максимально. Это обеспечивает, при необходимости, ускоренный нагрев сырья до требуемой температуры ферментации. После

нагрева субстрата до требуемой температуры, производится слив воды из наружного 6 или внутреннего 7 зазоров, и их осушение. В результате интенсивность поступления тепла из солнечного соляного пруда 2 через воздушные зазоры 6 и 7 уменьшается в **десятки-сотни** раз, по сравнению с тем, когда они были заполнены водой. Можно осушать и один из зазоров.

Дальнейшее поддержание температуры субстрата в требуемых пределах можно обеспечивать как за счет синхронного регулирования подачи «горячего» сырья и отвода эфлюента, так и за счет периодического заполнения зазоров 6 и 7 водой и создания в этих зазорах низкого вакуума.

Такая комбинированная установка генерации биогаза может обеспечить работу метантенка 1 в термофильном режиме, в первую очередь в странах с жарким климатом (Кыргызстан, Узбекистан, Таджикистан) без затрат вырабатываемого биогаза на собственные технологические нужды. Это очень актуально, если затем биометан используется в качестве моторного топлива, для обжига кирпича, освещения, для производства асфальта, выработки пара и для других технологических процессов, где нужна температура намного превышающая 100 °С.

В зазоре 6, при осушенном зазоре 7, в течение всего летнего периода можно подогревать воду для приготовления субстрата.

Кроме того в зазоре 6, при осушенном зазоре 7, можно подогревать воду весной, для использования при поливе в теплицах и парниках, обеспечивая поддержание в них приемлемую температуру не только воздуха но и грунта, т.к., например, в мае **естественная средняя** месячная температура почвы на юге Омской области на глубине 0,4 м составляет 8,7 °С, на глубине 0,8 м — 5,1 °С, а на глубине 1,6 м — всего 0,9 °С.

При осушенном зазоре 6, прокачкой холодной воды по зазору 7 можно охлаждать субстрат.

Для более эффективного аккумулирования солнечной энергии солнечным соляным рвом, с северной стороны метантенка 1 (рисунок 4) надо установить отражатель 9 (концентратор солнечной энергии), который будет направлять отраженное солнечное излучение в северную часть рва (пруда) в наиболее солнечное, полуденное, до и послеполуденное время.

Использование в технологическом производстве биогаза солнечной энергии позволяет обеспечить его летнее и осеннее производство с наибольшей эффективностью, что особенно важно в районах, отрезанных от крупных энергетических центров из-за разлива рек, бездорожья и т.д.

БГУ такого типа позволят более эффективно обеспечивать, за счет вырабатываемого удобрения поддержание плодородия почв, предотвращать свободную эмиссию биометана в атмосферу.

Прибыль от эксплуатации БГУ зависит от многих факторов, включая продажи «побочных» продуктов. Самую значительную прибавку к прибыли от продажи биометана можно получать от реализации жидких удобрений, поскольку это высоколиквидная продукция, пользующая постоянным спросом. Спрос на удобрения есть всегда, поскольку непреложным фактором функционирования аграрной биосистемы является баланс между внесением в



почву и выносом из неё энергии в виде питательных веществ: *внесение их должно быть не менее выноса.*

При выработке биогаза использование солнечной энергии для подогрева субстрата в большом метантенке позволит летом и осенью применять термофильный режим ферментации, В этом случае при том же объеме метантенка выход биогаза увеличится в 1,5 – 2 раза.

## Выводы

Стоимость БГУ с солнечным соляным прудом значительно ниже стоимости традиционной БГУ, при одинаковых объемах метантенков. При этом использование термофильного режима ферментации в них дополнительно ведет к снижению стоимости 1 кВт их установленной мощности.

За летний период эксплуатации БГУ с ССП, при работе большую часть времени в термофильном режиме, можно получать больше товарного биогаза, по сравнению с традиционной БГУ.

Поскольку эффективность обеззараживания удобрения у БГУ с ССП выше, то и доход от реализации удобрений будет также выше.

Модернизация с использованием солнечного соляного пруда БГУ, позволит уменьшить вес удельных капитальных затрат в 1,5 – 2 раза (в расчете на единицу мощности) и повысить рентабельность биогазовых проектов.

Перспективным представляется использования энергии солнечного соляного рва, пруда — в форме кольца, для подогрева и поддержания температуры ферментации субстрата в БГУ больших размеров.

## Список использованной литературы

- 1 Газета «Энергетика и промышленность России». 2014. №11. С.12.
- 2 Ковалев А.А. Повышение энергетической эффективности биогазовых установок Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва – 2014.
- 3 Осадчий Г.Б. Гелиометантенк-реактор биогазовой установки // Промышленная энергетика. 2006, №12, С. 42 – 43.
- 4 [rusnauka.com>6\\_PNI\\_2011/Agricole/2\\_79078.doc.htm](http://rusnauka.com>6_PNI_2011/Agricole/2_79078.doc.htm)
- 5 Осадчий Г.Б. Солнечная энергия, её производные и технологии их использования (Введение в энергетику ВИЭ). Омск: ИПК Макшеевой Е.А., 2010. 572 с.

Автор: Осадчий Геннадий Борисович, инженер, автор 140 изобретений СССР  
Тел дом. (3812)60-50-84, моб. 8(962)0434819, E-mail: [genboosad@mail.ru](mailto:genboosad@mail.ru)  
Для писем: 644053, Омск-53, ул. Магистральная, 60, кв.17.